

CFG 3025 US

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

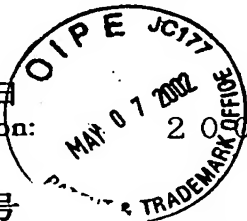
This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日
Date of Application: 2001年 2月22日

出 願 番 号
Application Number: 特願2001-047296

[ST.10/C]: [JP2001-047296]

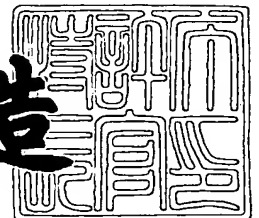
出 願 人
Applicant(s): キヤノン株式会社



2002年 3月15日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2002-3016803

【書類名】 特許願

【整理番号】 4280131

【提出日】 平成13年 2月22日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02B 26/10
G02B 27/17
G11B 21/10
G01L 3/10
B62D 5/04
B81B 3/00

【発明の名称】 マイクロ構造体、マイクロ力学量センサ、マイクロアクチュエータ、マイクロ光偏向器、光走査型ディスプレイ、及びそれらの製造方法

【請求項の数】 32

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社
社内

 【氏名】 安田 進

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社
社内

 【氏名】 加藤 貴久

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社
社内

 【氏名】 廣瀬 太

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社
社内

【氏名】 八木 隆行

【特許出願人】

【識別番号】 000001007

【氏名又は名称】 キヤノン株式会社

【代表者】 御手洗 富士夫

【代理人】

【識別番号】 100086483

【弁理士】

【氏名又は名称】 加藤 一男

【電話番号】 0471-91-6934

【手数料の表示】

【納付方法】 予納

【予納台帳番号】 012036

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9704371

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 マイクロ構造体、マイクロ力学量センサ、マイクロアクチュエータ、マイクロ光偏向器、光走査型ディスプレイ、及びそれらの製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板と、少なくとも一つ以上の揺動体を有し、前記揺動体が複数のトーションバーから成る一組以上のトーションスプリングによって前記基板に対して弾性的に揺動自由に支持されているマイクロ構造体において、一組のトーションスプリングを構成する前記複数のトーションバーは、互いに長軸が平行であるように並列的に近接して配置されていることを特徴とするマイクロ構造体。

【請求項 2】 一組のトーションスプリングを構成する前記複数のトーションバーは、互いに最も撓みやすい方向が非平行になるように配置された少なくとも 2 つのトーションバーを含むことを特徴とする請求項 1 に記載のマイクロ構造体。

【請求項 3】 一組のトーションスプリングを構成する前記複数のトーションバーは、断面形状が偏平である少なくとも 2 つのトーションバーを含むことを特徴とする請求項 1 に記載のマイクロ構造体。

【請求項 4】 一組のトーションスプリングを構成する前記複数のトーションバーは、断面形状が偏平であり最も撓みやすい方向が非平行になるように配置された少なくとも 2 つのトーションバーを含むことを特徴とする請求項 1 に記載のマイクロ構造体。

【請求項 5】 一組のトーションスプリングを構成する前記複数のトーションバーが、長軸に垂直な断面で切断したときに、断面形状が左右対称な形態になる様に配置されていることを特徴とする請求項 1 乃至 4 の何れかに記載のマイクロ構造体

【請求項 6】 一組のトーションスプリングを構成する前記複数のトーションバーが、長軸に垂直な断面で切断したときに、断面形状が上下左右対称な形態になる様に配置されていることを特徴とする請求項 1 乃至 4 の何れかに記載のマイクロ構造体

【請求項 7】 前記トーションバーの材質が単結晶材料から成ることを特徴とする請求項 1 乃至 6 の何れかに記載のマイクロ構造体。

【請求項 8】前記単結晶材料がシリコン単結晶であることを特徴とする請求項 7 に記載のマイクロ構造体。

【請求項 9】前記基板、揺動体、トーションスプリングが共通の基板から一体的に形成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 8 の何れかに記載のマイクロ構造体。

【請求項 10】(100)シリコン基板が用いられ、トーションスプリングが該シリコン基板の異方性エッチングで形成されて、その外面を画する該(100)シリコン基板面に対する斜面が(111)面であることを特徴とする請求項 1 乃至 9 の何れかに記載のマイクロ構造体。

【請求項 11】前記基板或いは揺動体に繋がるトーションスプリングの付け根部の外面を画する該(100)シリコン基板面に対する面が(111)面であることを特徴とする請求項 10 に記載のマイクロ構造体。

【請求項 12】前記トーションスプリングの横断面形状が逆ハの字形状であることを特徴とする請求項 10 または 11 に記載のマイクロ構造体。

【請求項 13】平板状基板が用いられ、トーションスプリングが該平板状基板の深堀リエッチングで形成されて、その外面を画する面が該平板状基板面とこの面に対する垂直面或いは平行面から成ることを特徴とする請求項 1 乃至 9 の何れかに記載のマイクロ構造体。

【請求項 14】前記トーションスプリングの横断面形状が逆ハの字状、十字状、或いは H 字状であることを特徴とする請求項 1 乃至 13 の何れかに記載のマイクロ構造体。

【請求項 15】前記トーションスプリングの角部が等方性エッチングで軽く丸くされて、そこへの応力集中が緩和されていることを特徴とする請求項 1 乃至 14 の何れかに記載のマイクロ構造体。

【請求項 16】前記揺動体が一つであり、直線にほぼ沿って伸びた一組ないし 2 組のトーションスプリングによって該揺動体が前記基板に対して弾性的に略該直線の回りに揺動自由に支持されていることを特徴とする請求項 1 乃至 15 の何れかに記載のマイクロ構造体。

【請求項 17】前記揺動体が複数であり、該複数の揺動体が入れ子式に配置さ

れ、各揺動体が、各直線にほぼ沿って伸びた２組のトーションスプリングによって、その外側の揺動体或いは前記基板に対して弾性的に略該各直線の回りに揺動自由に支持されていることを特徴とする請求項１乃至１５の何れかに記載のマイクロ構造体。

【請求項１８】前記各直線が互いに角度を成して伸びていることを特徴とする請求項１７に記載のマイクロ構造体。

【請求項１９】前記角度が９０度であることを特徴とする請求項１８に記載のマイクロ構造体。

【請求項２０】前記揺動体が複数であり、該複数の揺動体がトーションスプリングを介在させて直列的に配置され、最も外側の揺動体が前記基板にトーションスプリングを介在させて支持されていることを特徴とする請求項１乃至１５の何れかに記載のマイクロ構造体。

【請求項２１】請求項１乃至２０の何れかに記載のマイクロ構造体と、前記基板と前記揺動体の相対変位を検出する変位検出手段を有することを特徴とするマイクロ力学量センサ。

【請求項２２】請求項１乃至２０の何れかに記載のマイクロ構造体と、前記揺動体を前記基板に対して相対的に駆動する駆動手段を有することを特徴とするマイクロアクチュエータ。

【請求項２３】前記駆動手段が、固定コアと、該固定コアを周回するコイルと、前記揺動体に接合された可動コアからなる電磁アクチュエータであることを特徴とする請求項２２に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項２４】請求項１乃至２０の何れかに記載のマイクロ構造体と、前記揺動体を前記基板に対して相対的に駆動する駆動手段と、前記揺動体に設けられた光反射手段を有することを特徴とするマイクロ光偏向器。

【請求項２５】前記駆動手段が、固定コアと、該固定コアを周回するコイルと、前記揺動体に接合された可動コアからなる電磁アクチュエータであることを特徴とする請求項２４に記載のマイクロ光偏向器。

【請求項２６】前記光反射手段が、光反射面或いは回折格子であることを特徴とする請求項２４または２５に記載のマイクロ光偏向器。

【請求項 2 7】請求項 2 4 乃至 2 6 の何れかに記載のマイクロ光偏向器と、変調可能な光源と、前記光源の変調と前記マイクロ光偏向器の揺動体の動作を制御する制御手段を有することを特徴とする光走査型ディスプレイ。

【請求項 2 8】請求項 1 0 乃至 1 2 の何れかに記載のマイクロ構造体の製造方法であって、(1 0 0) シリコン基板の両面にマスク層を成膜する工程と、前記両面のマスク層を前記揺動体とトーションスプリングの形態に応じてパターンニングする工程と、前記(1 0 0) シリコン基板を異方性エッチングする工程を含むことを特徴とするマイクロ構造体の製造方法。

【請求項 2 9】前記異方性エッチングをアルカリ溶液を用いて行うことを特徴とする請求項 2 8 に記載のマイクロ構造体の製造方法。

【請求項 3 0】請求項 1 3 または 1 4 に記載のマイクロ構造体の製造方法であって、基板の両面にマスク層を成膜する工程と、前記両面のマスク層を前記揺動体とトーションスプリングの形態に応じてパターンニングする工程と、前記基板を片面より深掘りエッチングする工程と、前記基板を他面より深掘りエッチングする工程を含むことを特徴とするマイクロ構造体の製造方法。

【請求項 3 1】前記基板がシリコン基板であることを特徴とする請求項 3 0 に記載のマイクロ構造体の製造方法。

【請求項 3 2】前記トーションスプリングの角部を軽く等方性エッチングして、そこを丸くし、そこへの応力集中を緩和する工程を更に含むことを特徴とする請求項 2 8 乃至 3 1 の何れかに記載のマイクロ構造体の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、マイクロマシンないしマイクロ構造体の分野に関するものである。より詳しくは、軸回りに揺動する部材を有するマイクロ力学量センサ、マイクロアクチュエータ、マイクロ光偏向器等に関するものである。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

機械要素を小型化しようとする、と、体積力よりも、表面力の占める割合が大き

くなり、摩擦の影響が通常の大きさの機械よりも大きくなることは良く知られている。そのため、マイクロマシンの設計においては、摺動部や回転部を極力少なくするように考慮するのが一般的である。

【 0 0 0 3 】

軸回りに揺動する部材を有する光偏向器の従来例を説明する。図 2 2 は、米国特許第 4 3 1 7 6 1 1 号明細書に開示された光偏向器の斜視図を示している。図 2 3 は、その内部構造を説明するために、上記光偏向器を分解して表示した図である。また、図 2 4 と図 2 5 は、それぞれ、図 2 2 の切断線 1 0 0 3 と 1 0 0 6 におけるシリコン薄板 1 0 2 0 の断面図を示している。

【 0 0 0 4 】

上記光偏向器において、絶縁性材料からなる基板 1 0 1 0 には、凹み部 1 0 1 2 が形成されている。凹み部 1 0 1 2 の底部には、一对の駆動電極 1 0 1 4、1 0 1 6 およびミラー支持部 1 0 3 2 が配置されている。シリコン薄板 1 0 2 0 には、トーションバー 1 0 2 2、1 0 2 4 とミラー 1 0 3 0 が一体に形成されている。ミラー 1 0 3 0 は、表面に光の反射率の高い物質がコーティングされており、トーションバー 1 0 2 2、1 0 2 4 により揺動自由に支持されている。そして、シリコン薄板 1 0 2 0 は、駆動電極 1 0 1 4、1 0 1 6 と所定の間隔を保つように基板 1 0 1 0 上に対抗配置されている。

【 0 0 0 5 】

ここで、シリコン薄板 1 0 2 0 は、電氣的に接地されている。従って、駆動電極 1 0 1 4、1 0 1 6 に交互に電圧を印加することで、ミラー 1 0 3 0 に静電引力を作用させて、ミラー 1 0 3 0 をトーションバー 1 0 2 2、1 0 2 4 の長軸の回りに揺動させられる。

【 0 0 0 6 】

トーションバー 1 0 2 2、1 0 2 4 の断面形状は、図 2 5 に示すような台形である。ところが、この様な断面形状のトーションバーを有するマイクロ構造体は、トーションバーが撓みやすいため、外部の振動を拾ってしまったり、トーションバーの軸がぶれてしまい、正確な駆動ができないという問題点があった。

【 0 0 0 7 】

そのため、この様な光偏向器を光走査型ディスプレイに適用した場合に、外部振動によって像がぶれたり、スポット形状が変化してしまうという問題点があった。これは、光走査型ディスプレイを持ち運び容易な形態にした場合に、より大きな問題となる。

【0008】

そこで、トーションバーを撓みにくくするために、次のような構造が提案されている。図26は、10th International Conference on Solid-State Sensors and Actuators (Transducers '99) pp.1002-1005にて開示されたハードディスクヘッド用ジンバルである。このジンバルは、ハードディスクヘッド用サスペンションの先端に取り付けられ、磁気ヘッドにロールとピッチの動きを弾性的に許容させるためのものである。ジンバル2020は、内側にロールトーションバー2022、2024で回転自由に支持された支持棒2031を有している。また、支持棒2031の内側には、ピッチトーションバー2026、2028で回転自由に支持されたヘッド支持体2030が形成されている。ロールトーションバー2022、2024とピッチトーションバー2026、2028のねじれの軸（図26の直交する鎖線参照）は、互いに直交しており、それぞれ、ヘッド支持体2030のロールとピッチの動きを担当している。

【0009】

図27は、図26中の切断線2006における断面図である。図27に示すように、トーションバー2022の断面形状はT字形状をしており、また、ジンバル2020はリブを有する構造になっている。

【0010】

図28を用いて、本ジンバルの作製工程を説明する。まず、型取り用シリコンウエハー2091に、ICP-RIE（誘導結合プラズマ反応性イオンエッチング）のようなエッチング法を用いて、垂直エッチングを行う（a）。この型取り用シリコンウエハー2091は、再利用が可能である。次に、型取り用シリコンウエハー2091の上に、シリコン酸化膜とリン酸化ガラスからなる犠牲層2092を成膜する（b）。続いて、構造体となるポリシリコン層2093を成膜する（c）。そして、このポリシリコン層2093のパターニングを行う（d）。最後

に、犠牲層 2 0 9 2 を除去し、パターニングされたパッド 2 0 9 5 にエポキシ樹脂 2 0 9 4 でポリシリコン層 2 0 9 3 を接着する (e)。

【 0 0 1 1 】

この様にして作製された T 字断面を有するトーションバーは、円断面や長方形断面のような断面形状を有するトーションバーと比べて、断面二次極モーメント J が小さいわりに、断面二次モーメント I が大きいという特徴がある。そのため、比較的ねじれやすい割りに、撓みにくいトーションバーを提供できる。つまり、ねじれ方向に十分なコンプライアンスを確保しながら、ねじれの軸に垂直な方向には剛性の高いトーションバーを提供できる。

【 0 0 1 2 】

また、必要なコンプライアンスや許容ねじれ角を得るための長さが短いトーションバーを提供できるため、より小型化できるという利点もある。

【 0 0 1 3 】

こうして、この T 字断面を有するトーションバーを用いることで、ロール、ピッチ方向に十分なコンプライアンスを持ち、その他の方向には十分な剛性を有し、より小型化が可能なマイクロジンバルを提供できる。

【 0 0 1 4 】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、このマイクロ構造体には、次のような問題点があった。

1. T 字形状断面を有するトーションバーは、振れたときに図 2 7 の 2 0 5 0 の部分において応力の集中が生じるために壊れやすい。
2. T 字形状断面を有するトーションバーは、ねじりの中心と重心軸の中心が一致していない。そのため、揺動時にねじれの軸に垂直な方向の加振力を生じてしまう。そのため、駆動時に不要な動きが生じてしまう。
3. ポリシリコンは、単結晶シリコンに比べて内部損失が大きいため、機械的な Q 値が低くなってしまう。そのため、機械的な共振を利用して駆動する際に、振動振幅を大きくできない。また、損失が大きいためエネルギー効率が低い。

【 0 0 1 5 】

本発明の目的は、この様な問題点を解決した、軸回りに揺動する部材を有する

マイクロ力学量センサ、マイクロアクチュエータ、マイクロ光偏向器等に適用できるマイクロマシンないしマイクロ構造体、その製造方法を提供することにある。

【 0 0 1 6 】

【課題を解決するための手段】

上記問題点を解決するための本発明のマイクロ構造体は、基板と、少なくとも一つ以上の揺動体を有し、前記揺動体が複数のトーションバーから成る一組以上のトーションスプリングによって前記基板に対して弾性的に揺動自由に支持されているマイクロ構造体において、一組のトーションスプリングを構成する前記複数のトーションバーは、互いに長軸が平行であるように並列的に近接して配置されていることを特徴とする。複数のトーションバーが、互いに長軸が平行であるように並列的に近接して配置されれば、ねじれの軸に垂直な方向のたわみに対して相互に補強し合うので、この方向の加振力が生じにくくなる。また、複数のトーションバーでトーションスプリングを構成するので、各トーションバーの断面形状を比較的単純な形（例えば、単純な偏平形状であるが、枝部が付いた偏平形状でもよい）にできて、応力の集中が起こる部分が生まれにくくなって壊れにくくなる。

【 0 0 1 7 】

この基本構成に基づいて、以下の如きより具体的な形態が可能である。

典型的には、一組のトーションスプリングを構成する前記複数のトーションバーは、互いに最も撓みやすい方向が非平行になるように配置された少なくとも2つのトーションバーを含む。これにより、ねじれの軸に垂直な方向のたわみに対してより有効に相互に補強し合うので、この方向の加振力がより生じにくくなる。ただし、互いに最も撓みやすい方向が平行になるように配置しても、撓みに対しての抵抗力は単独のときよりは強くなる。

【 0 0 1 8 】

更に典型的には、一組のトーションスプリングを構成する複数のトーションバーが、断面形状が偏平であり最も撓みやすい方向が非平行或いは平行になるように配置された少なくとも2つのトーションバーを含む。勿論、非平行である方が

好ましいが、平行であっても、撓みに対する抵抗力は強まる。この平行な構成は作製しやすい。

【0019】

また、一組のトーションスプリングを構成する前記複数のトーションバーが、長軸に垂直な断面で切断したときに、断面形状が左右対称な形態になる様に配置されていたり（図4参照）、断面形状が上下左右対称な形態になる様に配置されていたりする（図10、図16参照）。しかし、必要であれば、断面形状が左右非対称な形態の逆ハの字形状のトーションスプリングや、断面形状が上下或いは左右非対称な形態の十字形状、H字形状のトーションスプリングにしてもよい。

【0020】

典型的には、前記トーションバーの材質がシリコン単結晶、水晶などの単結晶材料から成る。また、前記基板、揺動体、トーションスプリングは、共通のシリコン単結晶、水晶などの単結晶材料基板からエッチングなどで一体的に形成され得る。

【0021】

また、（100）シリコン基板が用いられて、トーションスプリングが該（100）シリコン基板の異方性エッチングで形成されて、その外面を画する該（100）基板面に対する斜面が（111）面である様にできる。この際、前記基板或いは揺動体に繋がるトーションスプリングの付け根部の外面を画する（100）基板面に対する面も、（111）面である様にできる。（111）面は高精度且つ滑らかに形成されるので、作製されたトーションスプリングは破断し難いものとなる。更に、トーションスプリングの付け根部分の面も（111）斜面とすれば、ここへの応力集中が緩和できて、トーションスプリングの信頼性を高められる。

【0022】

また、シリコンなどの平板状基板が用いられて、トーションスプリングが該平板状基板のICP-RIEなどを用いる深掘リエッチングで形成されて、その外面を画する面が該平板状基板面とこの面に対する垂直面或いは平行面から成る様にもできる。

【 0 0 2 3 】

トーションスプリングの横断面形状としては、逆ハの字状、十字状、H字状などの形状がある。

【 0 0 2 4 】

前記トーションスプリングの角部が等方性エッチングで軽く丸くされて、そこへの応力集中が緩和されてもよい。

【 0 0 2 5 】

マイクロ構造体の形態としては、前記揺動体が一つであり、直線にほぼ沿って伸びた一組ないし2組のトーションスプリングによって該揺動体が前記基板に対して弾性的に略該直線の回りに揺動自由に支持されている形態を採り得る。2組のトーションスプリングの形態は後述の実施例に説明されているが、揺動体が充分軽量で一組のトーションスプリングで支障なく揺動自由に支持され得る場合には、こうした形態も用途に応じて使用できる。

【 0 0 2 6 】

他のマイクロ構造体の形態としては、前記揺動体が複数であり、該複数の揺動体が入れ子式に配置され、各揺動体が、各直線にほぼ沿って伸びた2組のトーションスプリングによって、その外側の揺動体或いは前記基板に対して弾性的に略該各直線の回りに揺動自由に支持されている形態も採り得る。2つの揺動体が入れ子式に配置された例は図26に示されている。必要であれば、3つ以上の揺動体が入れ子式に配置された形態も実現できる。前記各直線が互いに成す角度は、典型的には90度であるが（図26の例参照）、これも、必要であれば90度以外の角度であってもよい。

【 0 0 2 7 】

更なる他のマイクロ構造体の形態としては、前記揺動体が複数であり、該複数の揺動体がトーションスプリングを介在させて直列的に配置され、最も外側の揺動体が前記基板にトーションスプリングを介在させて支持されている形態も採り得る。例えば、比較的小質量の揺動体をトーションスプリングを介在させて比較的大質量の揺動体で挟み、両側の大質量の揺動体をトーションスプリングを介在させて基板に繋げ、これら3つのトーションスプリングを一直線にほぼ沿って伸

びる形態として、この形態において、大質量の揺動体の駆動で小質量の揺動体を間接的に駆動する。いずれにせよ、本発明のマイクロ構造体は、一組のトーションスプリングを構成する複数のトーションバーが、互いに長軸が平行であるように並列的に近接して配置されていることに特徴があり、その形態は用途に応じて種々のものであり得る。

【 0 0 2 8 】

更に、上記問題点を解決するための本発明のマイクロ力学量センサは、上記のマイクロ構造体と、基板と揺動体の相対変位を検出する変位検出手段を有することを特徴とする。変位検出手段としては、従来公知のものを使用できて、例えば、静電容量の変化を電圧変化で検知して基板と揺動体の相対変位を検出するものがある。その具体例としては、特開平 8 - 1 4 5 7 1 7、特開 2 0 0 0 - 6 5 6 6 4、特開 2 0 0 0 - 2 9 2 4 3 4 号公報などに開示されている。

【 0 0 2 9 】

更に、上記問題点を解決するための本発明のマイクロアクチュエータは、上記のマイクロ構造体と、前記揺動体を前記基板に対して相対的に駆動する駆動手段を有することを特徴とする。前記駆動手段としては、固定コアと、該固定コア（軟磁性体で形成されたりする）を周回するコイルと、前記揺動体に接合された可動コア（軟磁性体或いは硬磁性体の永久磁石で形成されたりする。両者では駆動原理が異なり、前者では、軟磁性体の磁極は決まっておらず、固定コアに磁束が発生する時には磁気回路の磁束を切る軟磁性体の断面積の増す方向に磁束内へ軟磁性体が吸引される駆動力が起こり、磁束消滅時にはそれから解放されるのに対して、後者では、硬磁性体の磁極は決まっており、異或いは同磁極間の磁力（吸引力或いは反発力）が駆動力である）からなる電磁アクチュエータであったり、静電引力を利用するものであったりする。

【 0 0 3 0 】

更に、上記問題点を解決するための本発明のマイクロ光偏向器は、上記のマイクロ構造体と、揺動体を基板に対して相対的に駆動する駆動手段と、前記揺動体に設けられた光反射手段を有することを特徴とする。駆動手段については、上で述べた通りである。光反射手段としては、光反射面或いは回折格子があり、後者

では1つのビームを複数のビーム（回折光）として偏向することもできる。

【0031】

更に、上記問題点を解決するための本発明の光走査型ディスプレイは、上記のマイクロ光偏向器と、変調可能な光源（半導体レーザなど）と、前記光源の変調と前記マイクロ光偏向器の揺動体の動作を制御する制御手段を有することを特徴とする。

【0032】

更に、上記問題点を解決するための本発明のマイクロ構造体の製造方法は、（100）シリコン基板の両面にマスク層を成膜する工程と、前記両面のマスク層を前記揺動体とトーションスプリングの形態に応じてパターニングする工程と、前記（100）シリコン基板をアルカリ溶液などを用いて異方性エッチングする工程を含むことを特徴とする。

【0033】

更に、上記問題点を解決するための本発明のマイクロ構造体の他の製造方法は、シリコン基板などの材料基板の両面にマスク層を成膜する工程と、前記両面のマスク層を前記揺動体とトーションスプリングの形態に応じてパターニングする工程と、前記材料基板を片面よりICP-RIEなどを用いて深掘リエッチングする工程と、前記材料基板を他面よりICP-RIEなどを用いて深掘リエッチングする工程を含むことを特徴とする。

【0034】

これらのマイクロ構造体の製造方法において、前記トーションスプリングの角部を軽く等方性エッチングして、そこを丸くし、そこへの応力集中を緩和してもよい。

【0035】

【作用】

本発明のマイクロ構造体の作用について説明する。

図20は、断面形状が扁平なトーションバーの例として、断面形状が楕円の場合を図示している。図20のような断面形状が楕円のトーションバーは、楕円の短軸の方向に最も撓みやすく（断面二次モーメントが極小）、楕円の短軸の方向

に最も撓みにくい（断面二次モーメントが極大）。一般に、断面二次モーメントが極値を取る方向は2つあり、これらの方向は互いに直交することが知られている。

【 0 0 3 6 】

本発明のマイクロ構造体においては、断面形状が偏平形状などである比較的単純な形状の複数のトーションバーを、典型的には、最も撓みやすい方向が非平行になるように組み合わせることで、撓みにくい構造を実現している。

【 0 0 3 7 】

本発明のマイクロ構造体においては、T字断面を有するトーションバーのように応力集中が生じる点が生じにくいため、同じねじりばね定数、同じ長さのトーシヨンスプリングを考えたときに、より壊れにくい。また、同じ許容ねじり角で考えると、T字断面のトーションバーと比べて、より短いトーシヨンスプリングを実現することができる。

【 0 0 3 8 】

また、本発明のマイクロ構造体において、断面形状が上下左右対称形状になる様に断面形状が偏平なトーションバーを組み合わせると、ねじれの軸の中心を、トーシヨンスプリングの重心軸中心に一致させることができるため、揺動したときにねじれの軸に垂直な方向の加振力が更に効果的に生じないようにできる。

【 0 0 3 9 】

また、本発明のマイクロ構造体において、単結晶材料を素材に使用するとき、単結晶材料はポリシリコンに比べて内部損失が小さいため、機械的なQ値を大きくすることができる。そのため、機械的な共振を利用する際に振動振幅を大きくでき、また、エネルギー効率が高くなる。単結晶材料としては、入手の容易で機械特性に優れた（すなわち、比較的軽量でありながら物理的強度、耐性、寿命に優れた）単結晶シリコンを使用するのが好適である。

【 0 0 4 0 】

【発明の実施の形態】

以下に、本発明の実施の形態を明らかにすべく、図面を参照しつつ実施例を説明する。

【 0 0 4 1 】

[実施例1]

図1は、本発明の実施例1のマイクロ光偏向器を説明するための斜視図である。図2は、内部構造を説明するために、上記マイクロ光偏向器を分解して示した図である。図3は、本実施例のマイクロ光偏向器の動作を説明するための断面図である。図4は、本実施例の特徴であるトーションスプリングの構造を説明するための、図1の切断線106におけるシリコン単結晶薄板120の断面図を示している。

【 0 0 4 2 】

実施例1のマイクロ光偏向器において、ガラス基板110には、凹み部112が形成されている。凹み部112の底部には、一对の駆動電極114、116および三角柱状のミラー支持部132が配置されている。ミラー支持部132は、より安定的な揺動を実現する為に設けられているが、これは省き得る。シリコン単結晶薄板120には、バルクマイクロマシニング技術により、トーションスプリング128、129とミラー130が、一体に形成されている。本実施例の特徴であるトーションスプリング128、129は、偏平トーションバー122、123；124、125が図4に示す様に2本ずつ組になって、断面形状が逆ハの字形状に配置されることで構成されている。

【 0 0 4 3 】

ミラー130は、平板の表面に光の反射率の高い物質がコーティングされて形成されており、トーションスプリング128、129により揺動自由に支持されている。そして、シリコン単結晶薄板120は、ミラー130が駆動電極114、116と所定の間隔を保つようにガラス基板110上に対抗配置されている。トーションスプリング128、129のねじり軸に沿ったミラー130の下面はミラー支持部132の頂線部に接していて、該頂線部に沿う揺動軸の回りでミラー130が揺動可能になっている。

【 0 0 4 4 】

シリコン単結晶薄板120は、電氣的に接地されている。従って、駆動電極114、116に交互に電圧を印加することで、ミラー130に静電引力を作用さ

せて上記揺動軸の回りにミラー130を揺動させることができる。駆動力は静電引力に限らず、磁気力などを使うこともできる。この場合は、駆動電極の代わりに電磁石を設置してミラー130の下面に硬磁性材料の永久磁石を固定するなどの構成をとることになる。

【0045】

上記光偏向器の作製法について、図6と図7を用いて、以下に詳しく述べる。

図6(a)～(e)は図1の切断線106における断面を表し、図7(a)～(e)は、図2の切断線109における断面を表している。

【0046】

まず、図6に沿ってシリコン単結晶薄板120の加工について述べる。

1. シリコン単結晶薄板120の両面に、マスク層150（例えば、 SiO_2 や低圧化学気相成長法で作製した窒化シリコン等）を成膜する。シリコン単結晶薄板120には、(100)基板を使用する。そして、フォトリソグラフィ技術で、マスク層150のパターニングを行う(a)。このマスクパターンは、トーションスプリング128、129の部分では、基板120上面側と下面側にそれぞれ幅 W_a と幅 W_b のストライプ状開口が形成されている。幅 W_b のストライプ状開口はストライプ状マスク層150を挟んで一対形成され、幅 W_a のストライプ状開口は該ストライプ状マスク層に対応する上面個所に1つ形成されている。幅 W_a は2つのトーションバー122、123；124、125の最上部の間隔に設定され、幅 W_b の二つの開口の間のストライプ状のマスク層150の幅は2つのトーションバー122、123；124、125の最底部の間隔に設定される。このマスクパターンでは、ミラー130の外形に沿って適当な幅の開口部も基板120上面側に形成されている。

【0047】

2. KOHのようなアルカリ溶液である異方性エッチング溶液を用いて、シリコン単結晶薄板120の両面からエッチングを行う。シリコンの異方性エッチングは、(100)面で速く進み、(111)面で遅く進むため、エッチングは、まず、掘り進むにつれて開口部が狭くなるように進行する(b、c)。

【0048】

3. 両面から基板 1 2 0 を貫通するまでエッチングが進行し、マスク層 1 5 0 でストップする (d)。図 5 に示すように、シリコンの (1 1 1) 面は、(1 0 0) 面に対して、5 4 . 7 度の角度を有するため、開口部の幅 w と V 溝の深さ d の関係は、 $d = w/2 \cdot \tan 54.7^\circ$ である。従って、基板 1 2 0 を貫通するためには、 $W_a, W_b > 2t/\tan 54.7^\circ$ の関係を満たす必要がある。ここで、 t はシリコン単結晶薄板 1 2 0 の厚みである。

【 0 0 4 9 】

この際、(1 1 1) 面は高精度且つ滑らかに形成されるので、作製された逆ハの字断面形状のトーションスプリング 1 2 8、1 2 9 は破断し難いものとなる。更に、上記異方性エッチングにより、トーションスプリング 1 2 8、1 2 9 の付け根部分の V 溝の面 (図 2 (a) に 1 2 8 a、1 2 9 a で示す) も図 2 (b) (図 2 (a) の切断線 1 9 0 におけるシリコン単結晶薄板 1 2 0 の断面図) に示すように (1 1 1) 斜面となるので、ここへの応力集中が緩和できて、トーションスプリングの信頼性を高め、ミラーの光偏向角を大きくできる。

【 0 0 5 0 】

4. 上記異方性エッチング後、ガスや酸により等方性エッチングを行い、トーションスプリングの角部の角を丸くしてもよい。こうすれば、これらの部分への応力集中を緩和できる。

【 0 0 5 1 】

5. 次に、マスク層 1 5 0 を除去する (e)。

【 0 0 5 2 】

6. 最後に、ミラー 1 3 0 を洗浄し、表面に光反射膜を成膜する。

【 0 0 5 3 】

続いて、図 7 に沿ってガラス基板 1 1 0 の加工法について述べる。

1. ガラス基板 1 1 0 の両面にマスク層 1 5 1 (レジスト等) を成膜する (a)。

【 0 0 5 4 】

2. マスク層 1 5 1 をパターニングする (b)。三角柱状のミラー支持部 1 3 2 と凹み部 1 1 2 がエッチングで形成される様にパターニングする。

【 0 0 5 5 】

3. 凹み部 1 1 2 の深さが $25\mu\text{m}$ になるように、エッチングを行う (c)。
このとき、三角柱状のミラー支持部 1 3 2 が形成される。

【 0 0 5 6 】

4. マスク層 1 5 1 を除去し、凹み部 1 1 2 に所定のパターンの駆動電極 1 1 4、1 1 6 を形成する (d)。

【 0 0 5 7 】

5. 図 1 に示すようなマイクロ光偏向器の形態になるように、シリコン単結晶薄板 1 2 0 とガラス基板 1 1 0 を接合する (e)。

【 0 0 5 8 】

以上のように、本実施例の製造方法によれば、異方性エッチングを 1 度行うだけで、偏平断面を有するトーションバー 1 2 2、1 2 3；1 2 4、1 2 5 を逆ハの字形状に組み合わせたトーションスプリング 1 2 8、1 2 9 を製造することができる。

【 0 0 5 9 】

図 4 に示すように、本実施例の光偏向器のトーションスプリング 1 2 8 (1 2 9) においては、2 本の偏平トーションバー 1 2 2 (1 2 4) と 1 2 3 (1 2 5) が、互いに 70.6° の角度を持って配置されている。つまり、偏平トーションバーの最も撓みやすい (曲げ剛性が低い) 方向が、平行にならないように組み合わせられているため、トーションスプリング全体として、曲げ剛性が高い構造となっている。

【 0 0 6 0 】

本実施例によれば、T 字断面のトーションバーと異なり、大きな応力集中が生じないので、同じねじりばね定数、同じ長さのトーションスプリングを考えたときに、より壊れにくいマイクロ構造体を実現できる。また、本実施例によれば、同じ許容ねじり角で考えると、T 字断面のトーションバーと比べて、より小型化が可能なマイクロ構造体を実現できる。更に、単結晶シリコンを素材に使用することで、ポリシリコンに比べて機械的な Q 値が大きなマイクロ構造体を実現できる。

【 0 0 6 1 】

そして、本実施例によれば、より壊れにくく、より小型化が可能で、共振駆動したときに振動振幅が大きいマイクロ光偏向器を実現できる。更に、本実施例の製造方法を用いることで、比較的容易に本発明のマイクロ構造体を製造することができる。

【 0 0 6 2 】

[実施例 2]

図 8 は、本発明の実施例 2 の加速度センサを説明するための斜視図である。また、図 9 は、内部構造を説明するために、上記加速度センサを分解して表示した図である。また、図 1 0 は、図 8 の切断線 2 0 6 におけるシリコン薄板 2 2 0 の断面図を示している。

【 0 0 6 3 】

本実施例の加速度センサにおいて、絶縁性基板 2 1 0 には、凹み部 2 1 2 が形成されている。凹み部 2 1 2 の底部には検出電極 2 1 6 が配置されている。シリコン薄板 2 2 0 には、一对のトーションスプリング 2 2 8、2 2 9 と可動部材 2 3 0 が、一体に形成されている。本実施例の特徴であるトーションスプリング 2 2 8、2 2 9 は、それぞれ、偏平トーションバー 2 2 1 ~ 2 2 3、2 2 4 ~ 2 2 6 が、図 1 0 に示すように 3 本ずつ断面形状が H 字形状に組み合わせられて配置されている。図 1 0 より分かるように、それぞれのトーションスプリング 2 2 8、2 2 9 は、偏平トーションバーの曲げ剛性が低い方向が全て平行にならないように配置されることで構成されており、また、上下左右が対称である。

【 0 0 6 4 】

可動部材 2 3 0 は、トーションスプリング 2 2 8、2 2 9 によりその長軸の回りに揺動自由に支持されている。そして、シリコン単結晶薄板 2 2 0 は、検出電極 2 1 6 と所定の間隔を保つように絶縁性基板 2 1 0 上に対抗配置されており、電氣的に接地されている。

【 0 0 6 5 】

以上の構成において、シリコン単結晶薄板 2 2 0 に対して垂直な方向に加速度が作用すると、可動部材 2 3 0 に慣性力が作用し、可動部材 2 3 0 は、トーショ

ンスプリング 2 2 8、2 2 9 の長軸の回りに回転変位する。可動部材 2 3 0 が回転変位すると、検出電極 2 1 6 との距離が変化するため、可動部材 2 3 0 と検出電極 2 1 6 の間の静電容量が変化する。そのため、検出電極 2 1 6 とシリコン単結晶薄板 2 2 0 の間の静電容量を従来周知の手段で検出することで、加速度を検出することができる。

【 0 0 6 6 】

また逆に、検出電極 2 1 6 に電圧を印加すると、可動部材 2 3 0 と検出電極 2 1 6 の間に静電引力が作用し、可動部材 2 3 0 はトーションスプリング 2 2 8、2 2 9 の長軸の回りに揺動する。つまり、本実施例の加速度センサは、静電アクチュエータとしても使用することができる。

【 0 0 6 7 】

上記加速度センサの作製法について、図 1 1 と図 1 2 を用いて、以下に詳しく述べる。図 1 1 (a) ~ (e) は図 8 の切断線 2 0 6 における断面を表し、図 1 2 (a) ~ (e) は図 9 の切断線 2 0 9 における断面を表している。

【 0 0 6 8 】

まず、図 1 1 に沿って単結晶シリコン薄板 2 2 0 (この面方位は問わない) の加工法を述べる。

1. シリコン薄板 2 2 0 の両面に、マスク層 2 5 0 (例えば、レジスト等) を成膜し、図 9 に示すような形態のシリコン薄板 2 2 0 をエッチングで形成できるようなパターニングをフォトリソグラフィ技術で行う (a) 。

【 0 0 6 9 】

2. ICP-RIE のような深掘りエッチング法を用いて、H 字形状のトーションスプリング 2 2 8、2 2 9 のトーションバーと可動部材 2 3 0 と枠部以外のシリコン薄板部分を両面より一定の深さまで垂直エッチングを行う (b) 。この深さは、断面が H 字形状の分離した横棒部のトーションバー 2 2 2、2 2 5 の厚さを規定するものである (この深さの約倍が横棒部の厚さとなる) 。縦棒部のトーションバー 2 2 1、2 2 3 ; 2 2 4、2 2 4 の厚さは、マスク層 2 5 0 の比較的幅の広い中央のストライプ部の両側の比較的幅の狭い一対のストライプ部の幅で規定される。

【 0 0 7 0 】

3. マスク層 2 5 0 を除去した後に、新たなマスク層 2 5 1 を成膜し、パターニングを行う (c)。この際には、マスク層 2 5 0 のパターニングと異なり、トーションスプリング 2 2 8、2 2 9 の横棒部にはマスク層 2 5 1 は形成されない。

【 0 0 7 1 】

4. 再び、ICP-RIEのようなエッチング法を用いて、垂直エッチングを行う。まず、エッチングは図中下面から行い、2. で掘った場所の深さがシリコン薄板 2.2 0 の厚み中央に達するまで行う (c)。

【 0 0 7 2 】

5. 今度は、2. で掘った場所がシリコン薄板 2 2 0 を貫通するまで図中上面から垂直エッチングを行う (d)。

6. 最後に、マスク層 2 5 1 を除去する (e)。

【 0 0 7 3 】

次に、図 1 2 に沿って絶縁性基板 2 1 0 の加工法を述べる。

1. 絶縁性基板 2 1 0 の両面にマスク層 2 5 2 (レジスト等) を成膜する (a)。

【 0 0 7 4 】

2. 図 9 に示すような形態の絶縁性基板 2 1 0 をエッチングで形成できるようにマスク層 2 5 2 をパターニングする (b)。

【 0 0 7 5 】

3. 凹み部 2 1 2 の深さが $15\mu\text{m}$ になるように、エッチングを行い、凹み部 2 1 2 を形成する (c)。

【 0 0 7 6 】

4. マスク層 2 5 2 を除去し、凹み部 2 1 2 に検出電極 2 1 6 を蒸着などで形成する (d)。

【 0 0 7 7 】

5. 図 8 に示すような加速度センサの形態になるように、シリコン薄板 2 2 0 とガラス基板 2 1 0 を接合する (e)。

【 0 0 7 8 】

本実施例の特徴である、図 1 0 のような偏平トーションバーを断面形状が H 字状になるように組み合わせたトーションスプリング 2 2 8、2 2 9 においては、偏平トーションバーの曲げ剛性の低い方向が全て平行にならない様に組み合わされているので、全体として曲げ剛性が高くなっている。

【 0 0 7 9 】

また、本実施例によれば、T 字断面のトーションバーと異なり、大きな応力集中が生じないので、同じねじりばね定数、同じ長さのトーションスプリングを考えたときに、より壊れにくいマイクロ構造体を実現できる。また、同じ許容ねじり角で考えると、T 字断面のトーションバーと比べて、より小型のマイクロ構造体を実現できる。更に、単結晶シリコンを素材に使用することで、ポリシリコンに比べて機械的な Q 値が大きいマイクロ構造体を実現でき、断面形状を上下左右対称にすることで、揺動したときに、ねじれの軸に垂直な方向の加振力が生じないマイクロ構造体を実現できる。

【 0 0 8 0 】

また、本実施例によれば、従来よりも壊れにくく、小型化が可能な力学量センサを実現でき、従来よりも機械的な Q 値が高く、感度の高い力学量センサを実現できる。更に、揺動時に可動部がねじりの軸に垂直な方向に振動しにくくなるため、ノイズの少ない力学量センサを実現できる。

【 0 0 8 1 】

また、本実施例によれば、従来よりも壊れにくく、小型化が可能なマイクロアクチュエータを実現でき、従来よりも機械的な Q 値が高いため、共振駆動を行なったときに振幅を大きくすることができ、また、エネルギー効率の高いマイクロアクチュエータを実現できる。更に、揺動時に可動部がねじりの軸に垂直な方向に振動しにくいため、動きの精度が高いマイクロアクチュエータを実現できる。

【 0 0 8 2 】

更に、本実施例によれば、比較的容易に本発明のマイクロ構造体を製造することができる。

【 0 0 8 3 】

[実施例 3]

図 1 3 は、本発明の実施例 3 のマイクロ光偏向器を説明するための斜視図を示している。図 1 4 と図 1 5 は、それぞれ上面図と側面図である。図 1 5 においては、分かりやすくするために、シリコン単結晶薄板 3 2 0 の一部を切断して示している。図 1 6 は、本実施例の特徴であるトーションスプリングの構造を説明するための、図 1 3 の切断線 3 0 6 におけるシリコン単結晶薄板 3 2 0 の断面図を示している。

【0084】

本実施例のマイクロ光偏向器において、シリコン単結晶薄板 3 2 0 には、バルクマイクロマシニング技術により、トーションスプリング 3 2 8、3 2 9 とミラー 3 3 0 が、一体に形成されている。ミラー 3 3 0 の端には、軟磁性体材料からなる可動コア 3 4 1 が固定されている。本実施例の特徴であるトーションスプリング 3 2 8、3 2 9 は、偏平トーションバー 3 2 1、3 2 2、3 2 3；3 2 4、3 2 5、3 2 6 が、図 1 6 の断面図に示すように 3 本ずつ組になって、十字状に配置されることで構成されている。

【0085】

ミラー 3 3 0 は、表面に光の反射率の高い物質がコーティングされており、トーションスプリング 3 2 8、3 2 9 によりその長軸であるねじりの軸の回りに揺動自在に支持されている。

【0086】

ガラス基板 3 4 0 の上には、図 1 4 で示す形状の軟磁性体材料からなる固定コア 3 4 2 が配置されており、この固定コア 3 4 2 をコイル 3 4 5 が周回している。そして、シリコン単結晶薄板 3 2 0 とガラス基板 3 4 0 は、可動コア 3 4 1 と固定コア 3 4 2 のほぼ平行に対向する面が、所定の間隔を保つように接合されている。すなわち、ミラー 3 3 0 が揺動するとき、これら対向する面がほぼ平行状態を保ったままその重なり面積（可動コア 3 4 1 が、固定コア 3 4 2 で発生する磁束を切る断面積）が変化する様になっている。可動コア 3 4 1 と固定コア 3 4 2 で 2 つの間隙を含む閉じた直列磁気回路が形成される。

【0087】

図 1 7 を用いて、本実施例の光偏向器の動作について説明する。

コイル 3 4 5 に通電すると、固定コア 3 4 2 が励磁される。図 1 7 では、固定コア 3 4 2 の図中手前側が N 極に、奥側が S 極に励磁されている様子を表している。すると、可動コア 3 4 1 は、上記対向面の重なり面積が増す方向（固定コア 3 4 2 で発生した磁束路に吸引される方向）、即ち図 1 7 の矢印の方向に引き付けられる。可動コア 3 4 1 と固定コア 3 4 2 は、図 1 5 に示すように、上記対向面の重なり面積が増加できる様に非通電時には高さが異なる状態で配置されているので、トーションスプリング 3 2 8、3 2 9 の回りに左回りの回転モーメントが生じる。ミラー 3 3 0 の共振周波数に合わせてコイル 3 4 5 への通電を ON/OFF すると、ミラー 3 3 0 がトーションスプリング 3 2 8、3 2 9 の回りに共振を起こす。この状態でミラー 3 3 0 に光線を入射することで、光の走査を行うことができる。

【 0 0 8 8 】

次に、本光偏向器の作製方法を説明する。

まず、図 1 8 を用いて、シリコン単結晶薄板 3 2 0 の加工方法を説明する。図中左側は、図 1 3 の切断線 3 0 6 における断面図であり、右側は、切断線 3 0 9 における断面図である。

【 0 0 8 9 】

1. 先ず、シリコン単結晶薄板 3 2 0 の片面に、種電極層 3 6 0 を成膜する。

(a)。

【 0 0 9 0 】

2. 種電極層 3 6 0 の上に、厚膜レジスト層 3 6 1（例えば、MicroChem社製 SU-8）を成膜し、フォトリソグラフィ技術で可動コア 3 4 1 形成用のパターニングを行う (b)。

【 0 0 9 1 】

3. 軟磁性体層 3 6 2 を種電極層 3 6 0 の上に電解メッキで成膜する (c)。

【 0 0 9 2 】

4. 厚膜レジスト層 3 6 1 及び種電極層 3 6 0 を除去する (d)。軟磁性体層 3 6 2 の下の種電極層 3 6 0 はそのまま残る。

【 0 0 9 3 】

5. シリコン単結晶薄板 3 2 0 の両面に、マスク層 3 5 0（例えば、レジスト等）を成膜し、図 1 3 に示す形態の単結晶薄板 3 2 0 形成用のパターニングをフォトリソグラフィ技術で行う（e）。

【 0 0 9 4 】

6. ICP-RIE のようなエッチング法を用いて、両面より一定の深さまで垂直エッチングを行う（f）。この深さは、断面が十字形状のトーションスプリング 3 2 8、3 2 9 の両側の横棒部の厚さを規定するものである。この深さの倍がこの横棒部の厚さとなる。

【 0 0 9 5 】

7. マスク層 3 5 0 を除去し、新たなマスク層 3 5 1 を成膜、及びパターニングする（g）。このパターニングは、マスク層 3 5 0 のパターニングと異なり、トーションスプリング 3 2 8、3 2 9 の部分は中央の縦棒部のみにストライプ状のマスク層 3 5 1 が残される。

【 0 0 9 6 】

8. 再び、ICP-RIE のようなエッチング法を用いて、下面より垂直エッチングを行う。エッチングは、6. で掘った場所の深さがシリコン単結晶薄板 3 2 0 の厚み中央に達するまで行う（h）。

【 0 0 9 7 】

9. 更に、ICP-RIE のようなエッチング法を用いて、上面より垂直エッチングを行う。エッチングは、6. で掘った場所がシリコン単結晶薄板 3 2 0 を貫通するまで行う（i）。十字形状のトーションスプリング 3 2 8、3 2 9 の部分では、両側の横棒部を分離して残した所で止る。中央の縦棒部の厚さ（典型的には横棒部の厚さと等しい）はマスク層 3 5 1 の上下両面のストライプ部の幅で規定される。

【 0 0 9 8 】

1 0. 最後に、マスク層 3 5 1 を除去する（j）。

【 0 0 9 9 】

次に、図 1 9 を用いて、ガラス基板 3 4 0 の加工方法を説明する。図 1 9 は、

図 1 3 の切断線 3 0 7 における断面図である。

【 0 1 0 0 】

1. ガラス基板 3 4 0 の片面に種電極層 3 7 0 を成膜する (a)。
2. 種電極層 3 7 0 の上に厚膜レジスト層 3 7 1 を成膜し、固定コイル 3 4 2 形成用のパターニングを行う (b)。
3. 種電極層 3 7 0 の上に、コイル 3 4 5 の下配線層 3 7 2 を電解メッキで成膜する (c)。
4. 下配線層 3 7 2 部分以外の厚膜レジスト層 3 7 1 と種電極層 3 7 0 を除去する (d)。
5. 下配線層 3 7 2 の上に、絶縁層 3 7 3 を成膜し、両側部の配線層 3 8 2、3 8 3 形成用のパターニングを行う (e)。

【 0 1 0 1 】

6. 絶縁層 3 7 3 の上に、種電極層 3 7 4 を成膜する (f)。
7. 種電極層 3 7 4 の上に厚膜レジスト層 3 7 5 を成膜し、固定コア 3 4 2 である軟磁性体層 3 7 6 と両側部の配線層 3 8 2、3 8 3 を形成できる様にパターニングを行う (g)。
8. 厚膜レジスト層 3 7 5 の無い種電極層 3 7 4 の部分上に、軟磁性体層 3 7 6 と両側部の配線層 3 8 2、3 8 3 を電解メッキで成膜する (h)。

【 0 1 0 2 】

9. 厚膜レジスト層 3 7 5 と種電極層 3 7 4 を除去する (i)。
- 1 0. 再び絶縁層 3 7 7 を成膜し、上配線層 3 8 0 形成用のパターニングを行う (j)。このパターニングで、絶縁層 3 7 7 は両側部の配線層 3 8 2、3 8 3 の頂部の所のみ除かれている。

【 0 1 0 3 】

- 1 1. 絶縁層 3 7 7 の上に、種電極層 3 7 8 を成膜する (k)。
- 1 2. 種電極層 3 7 8 の上に厚膜レジスト層 3 7 9 を成膜し、パターニングを行う (l)。このパターニングで、厚膜レジスト層 3 7 9 は両側部の配線層 3 8 2、3 8 3 の外部の所のみ除かれている。

【 0 1 0 4 】

1 3. 種電極層 3 7 8 の上に、上配線層 3 8 0 を電解メッキで成膜する (m)

1 4. 最後に、厚膜レジスト層 3 7 9 と種電極層 3 7 8 を除去する (n)。

最終的に、図 1 3 に示すような光偏向器の形態になるように、シリコン単結晶薄板 3 2 0 とガラス基板 3 4 0 を接合する。

【0 1 0 5】

本実施例の特徴である、扁平トーシヨンバーを図 1 6 のような断面形状になるように組み合わせたトーシヨンスプリング 3 2 8、3 2 9 においては、扁平トーシヨンバーの曲げ剛性の低い方向が全て平行にならない様に組み合わされているので、全体として曲げ剛性が高くなっている。

【0 1 0 6】

本実施例のトーシヨンスプリングは、T 字断面のトーシヨンバーと異なり、大きな応力集中が生じないので、同じねじりばね定数、同じ長さのトーシヨンスプリングを考えたときに、より壊れにくいという特徴がある。また、同じ許容ねじり角で考えると、T 字断面のトーシヨンバーと比べて、より短いトーシヨンスプリングを提供できる。

【0 1 0 7】

また、単結晶シリコンを素材に使用しているため、ポリシリコンに比べて機械的な Q 値が大きい。また、断面形状が上下左右対称になっているため、揺動したときに、ねじれの軸に垂直な方向の加振力が生じないトーシヨンスプリングを実現できる。

【0 1 0 8】

こうして、本実施例によれば、従来よりも壊れにくく、小型化が可能な光偏向器を実現できる。また、本実施例の光偏向器は、従来よりも機械的な Q 値が高いため、共振駆動を行ったときに、振幅が大きくエネルギー効率が高い。また、揺動時に可動部がねじりの軸に垂直な方向に振動しにくいため、精度が高く、安定した駆動が可能な光偏向器を実現できる。

【0 1 0 9】

[実施例 4]

図 2 1 は、実施例 4 の光走査型ディスプレイを説明する図である。X 光偏向器 4 0 1 と Y 光偏向器 4 0 2 は、実施例 3 の光偏向器と同様のものである。コントローラ 4 0 9 は、X 光偏向器 4 0 1 と Y 光偏向器 4 0 2 を制御して、レーザ光線 4 1 0 をラスタ状に走査し、表示する情報に応じてレーザ発振器 4 0 5 を変調することで、スクリーン 4 0 7 上に画像を 2 次元的に表示する。

【 0 1 1 0 】

本発明の光偏向器を光走査型ディスプレイに適用することで、従来よりも壊れにくく、小型化が可能な光走査型ディスプレイ、エネルギー効率が高い光走査型ディスプレイ、外乱に強く、安定した表示が可能な光走査型ディスプレイを実現できる。

【 0 1 1 1 】

【発明の効果】

本発明によれば、複数のトーションバーを並列的に配列してトーションスプリングを構成しているので、断面二次極モーメント J が小さいわりに、断面二次モーメント I が大きいトーションスプリングを実現することができる。そのため、ねじれ方向に十分なコンプライアンスを確保しながら、ねじれの軸に垂直な方向には剛性の高いマイクロ構造体を実現できる。

【 0 1 1 2 】

また、ねじれ方向に十分なコンプライアンスを確保するためのトーションスプリングの長さが短いコンパクトなマイクロ構造体、必要なねじれ角を確保するためのトーションスプリングの長さが短いコンパクトなマイクロ構造体を実現できる。

【 0 1 1 3 】

また、単結晶を素材に使用すれば、ポリシリコンに比べて機械的な Q 値が大きくてコンパクトなマイクロ構造体を実現できる。更に、上下左右対称の形態にすれば、揺動したときに、ねじれの軸に垂直な方向の加振力が生じないマイクロ構造体を実現でき、応力集中が起きにくいため、壊れにくいマイクロ構造体を実現することができる。

【 0 1 1 4 】

また、本発明によれば、トーションスプリングがねじれ方向に十分なコンプライアンスを持つために偏向角が大きく、その他の方向には十分な剛性を有するために外乱に強く、より小型化が可能で、単結晶材料を用いる場合は機械的なQ値が高く、揺動したときにトーションスプリングの軸に垂直な方向に振動しにくく、壊れにくいマイクロ光偏向器を実現できる。

【0115】

また、本発明によれば、トーションスプリングがねじれ方向に十分なコンプライアンスを持つために感度が高く、その他の方向には十分な剛性を有するために外乱に強く、より小型化が可能で、単結晶材料を用いる場合は機械的なQ値が高いためにノイズが少なく、揺動したときにトーションスプリングの軸に垂直な方向に振動しにくいために精度が高く、壊れにくい力学量センサを実現することができる。

【0116】

また、本発明によれば、トーションスプリングがねじれ方向に十分なコンプライアンスを持つためにストロークが大きく、その他の方向には十分な剛性を有するために外乱に強く、より小型化が可能で、単結晶材料を用いる場合は機械的なQ値が高く、揺動したときにトーションスプリングの軸に垂直な方向に振動しにくいために精度が高く、壊れにくいマイクロアクチュエータを実現できる。

【0117】

更に、本発明の製造方法を用いることで、比較的容易に本発明のマイクロ構造体、マイクロ光偏向器、マイクロ力学量センサ及びマイクロアクチュエータを製造することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の実施例1の光偏向器を説明するための斜視図である。

【図2】

実施例1の光偏向器を説明するための分解図(a)、及びトーションスプリングの縦断面図(b)である。

【図3】

実施例 1 の光偏向器を説明するための断面図である。

【図 4】

実施例 1 の光偏向器を説明するためのトーションバーの部分の横断面図である。

【図 5】

シリコンの異方性エッチングを説明する図である。

【図 6】

実施例 1 の光偏向器のシリコン単結晶薄板の作製プロセスを説明する図である。

【図 7】

実施例 1 の光偏向器のガラス基板の作製プロセスを説明する図である。

【図 8】

本発明の実施例 2 の加速度センサを説明するための斜視図である。

【図 9】

実施例 2 の加速度センサを説明するための分解図である。

【図 1 0】

実施例 2 の加速度センサを説明するためのトーションスプリングの部分の横断面図である。

【図 1 1】

実施例 2 の加速度センサのシリコン単結晶薄板の作製プロセスを説明する図である。

【図 1 2】

実施例 2 の加速度センサのガラス基板の作製プロセスを説明する図である。

【図 1 3】

本発明の実施例 3 の光偏向器を説明する斜視図である。

【図 1 4】

実施例 3 の光偏向器を説明する上面図である。

【図 1 5】

実施例 3 の光偏向器を説明する一部破断した側面図である。

【図 1 6】

実施例 3 の光偏向器のトーションバーを説明する断面図である。

【図 1 7】

実施例 3 の光偏向器の動作原理を説明する図である。

【図 1 8】

実施例 3 の光偏向器のシリコン単結晶薄板の作製プロセスを説明する図である。

【図 1 9】

実施例 3 の光偏向器の固定コアとコイルの作製プロセスを説明する図である。

【図 2 0】

本発明のトーションバーの例の断面形状を説明する図である。

【図 2 1】

本発明の実施例 4 の光走査型ディスプレイを説明する図である。

【図 2 2】

従来の光偏向器を説明するための斜視図である。

【図 2 3】

従来の光偏向器を説明するための分解図である。

【図 2 4】

従来の光偏向器を説明するための断面図である。

【図 2 5】

従来の光偏向器を説明するためのトーションバーの部分の断面図である。

【図 2 6】

従来のハードディスク用ジンバルを説明する上面図である。

【図 2 7】

従来のハードディスク用ジンバルを説明するための断面図である。

【図 2 8】

従来のハードディスク用ジンバルの作製プロセスを説明する図である。

【符号の説明】

1 1 0、2 1 0、3 4 0 ガラス基板

112、212 凹み部
 114、116 駆動電極
 120、220、320 シリコン単結晶薄板
 122～125、221～226、321～326 偏平トーシヨンバー
 128、129、228、229、328、329; トーシヨンスプリン

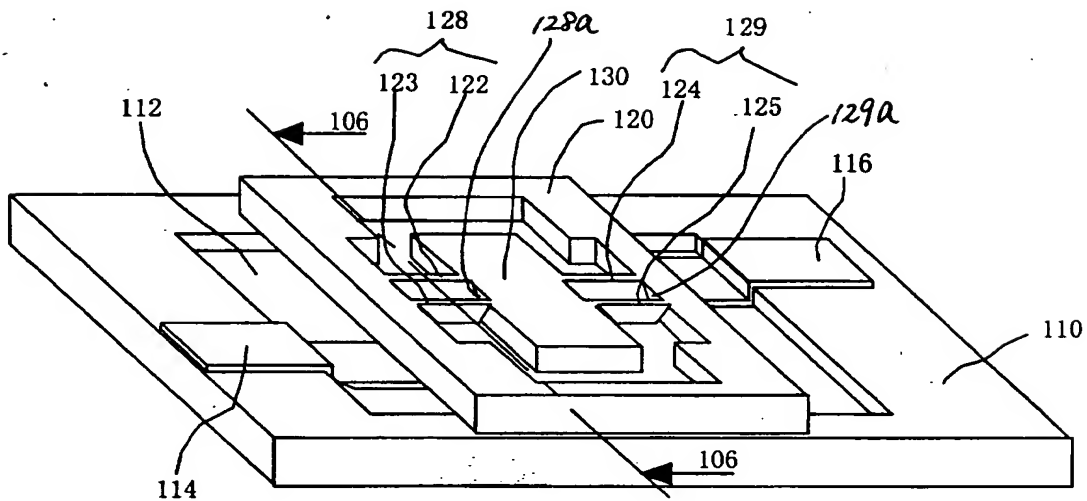
グ

128a、129a トーシヨンスプリングの付け根部の斜面
 130、330 ミラー
 132 ミラー支持部
 150、151、250、251、350、351 マスク層
 216 検出電極
 230 揺動部材
 341 可動コア
 342 固定コア
 345 コイル
 360、370、374、378 種電極層
 362、376 軟磁性体層
 361、371、375、379 厚膜レジスト層
 372 下配線層
 373、377 絶縁層
 380 上配線層
 382、383 側部配線層
 401 X光偏向器
 402 Y光偏向器
 405 レーザ発振器
 407 スクリーン
 409 コントローラ
 410 レーザ光線
 1010 絶縁性基板

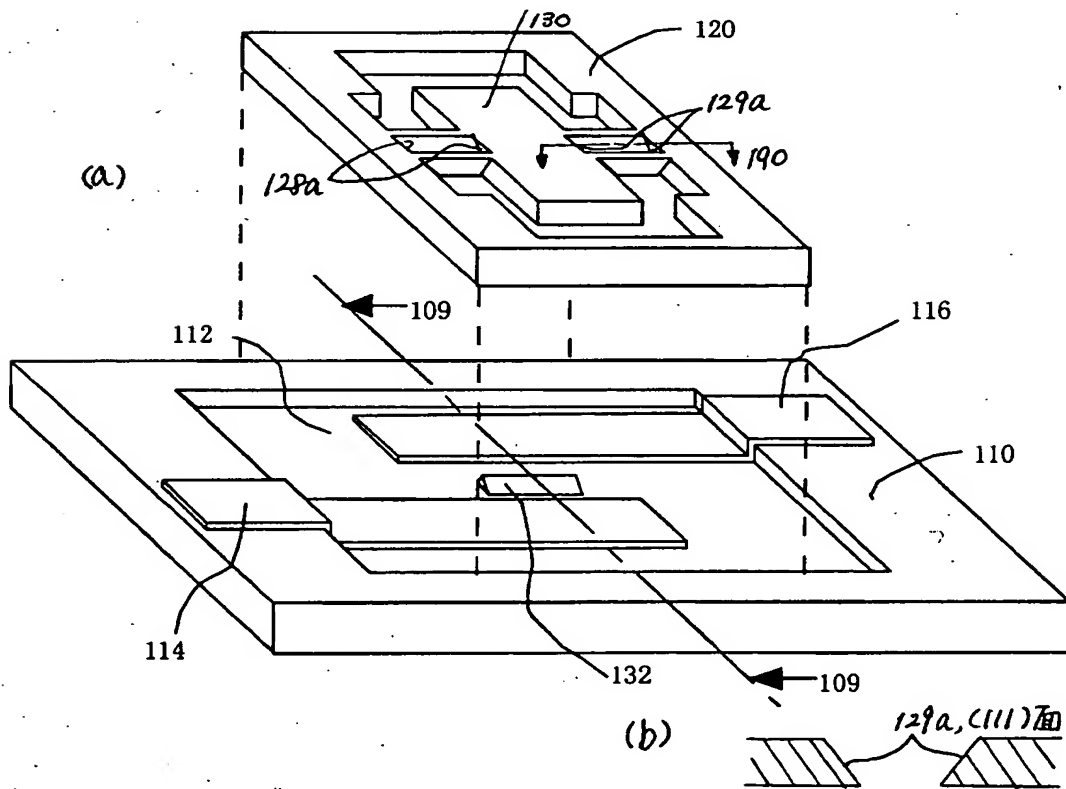
1014、1016 駆動電極
1020 シリコン薄板
1022、1024、2001、2002 トーションバー
1030、2011 ミラー
1032 ミラー支持部
2020 ジンバル
2022、2024 ロールトーションバー
2026、2028 ピッチトーションバー
2030 ヘッド支持体
2031 支持枠
2091 型取り用シリコンウェハー
2092 犠牲層
2093 ポリシリコン層
2094 エポキシ樹脂
2095 パッド

【書類名】 図面

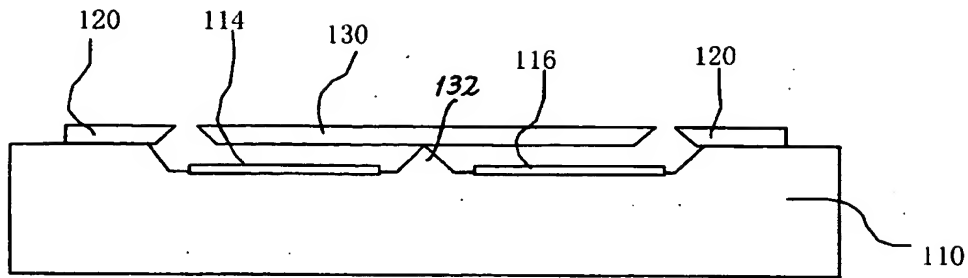
【図 1】



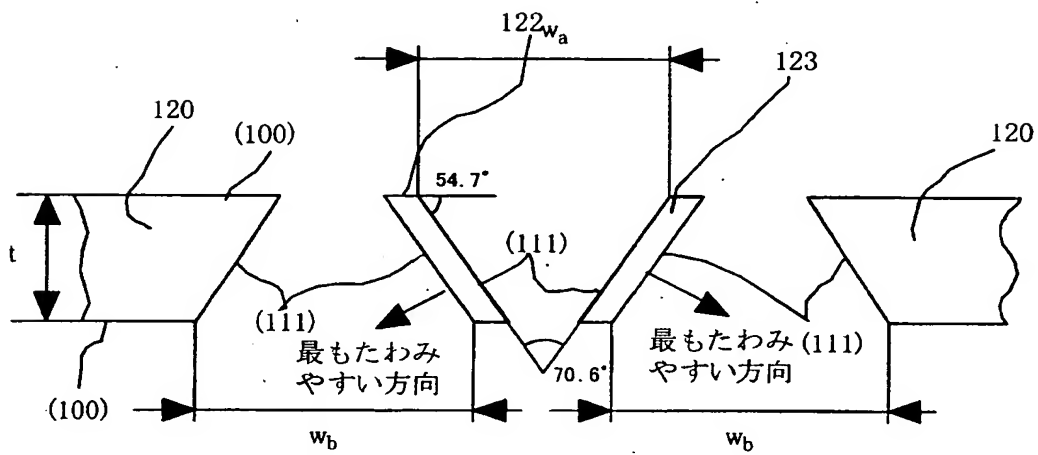
【図 2】



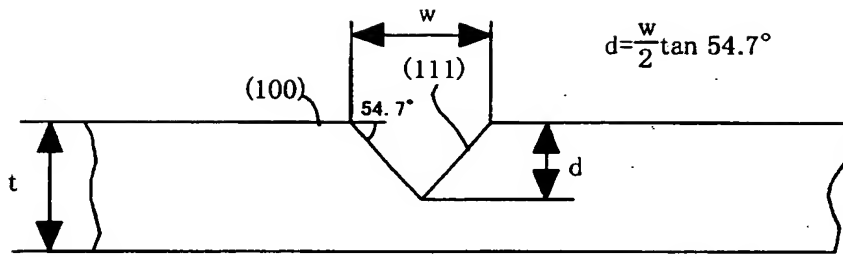
【図 3】



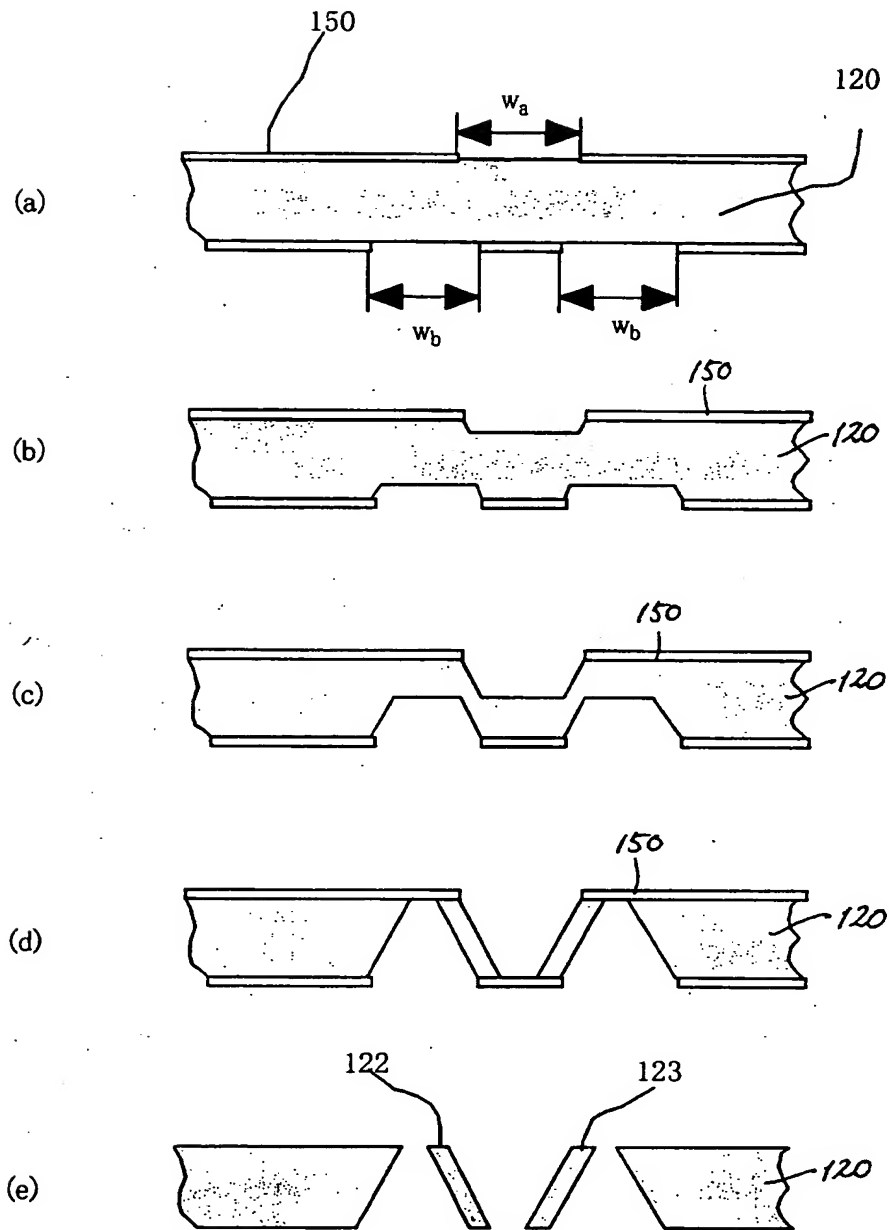
【図 4】



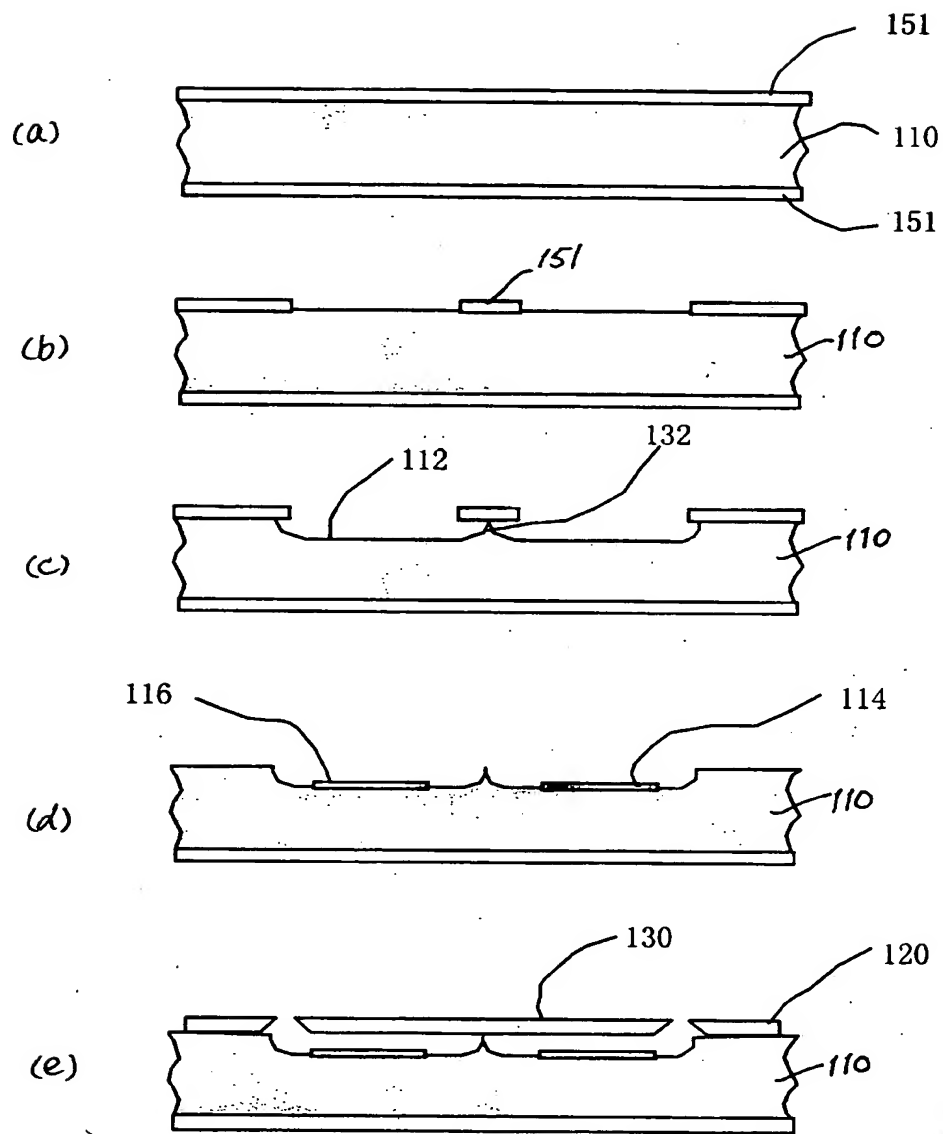
【図 5】



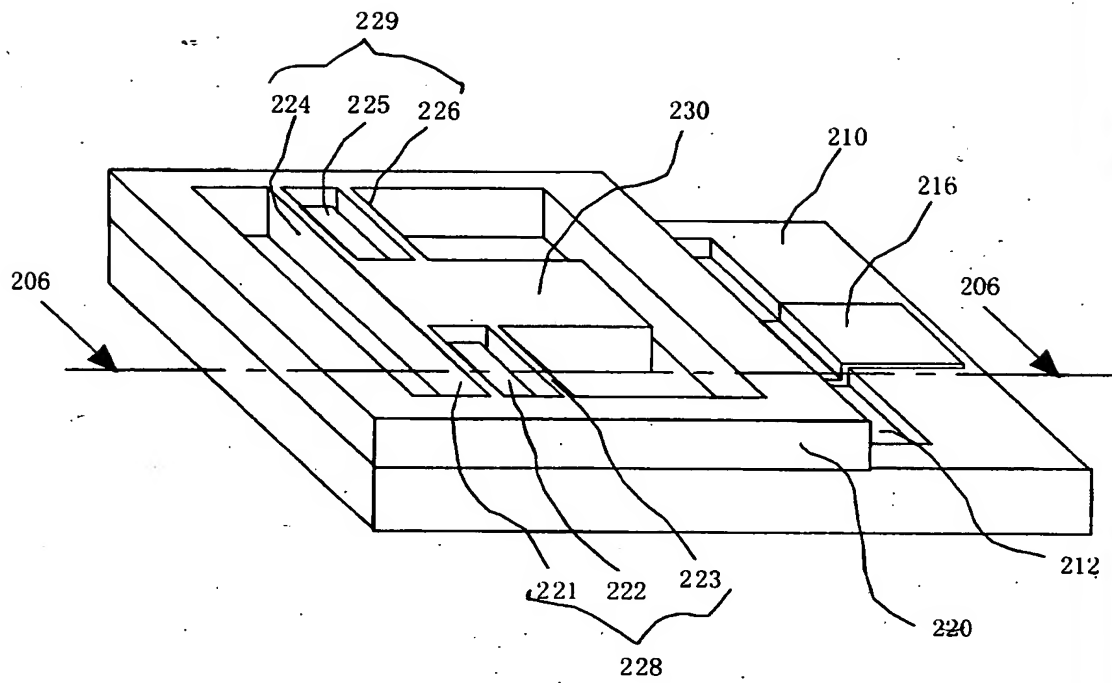
【図 6】



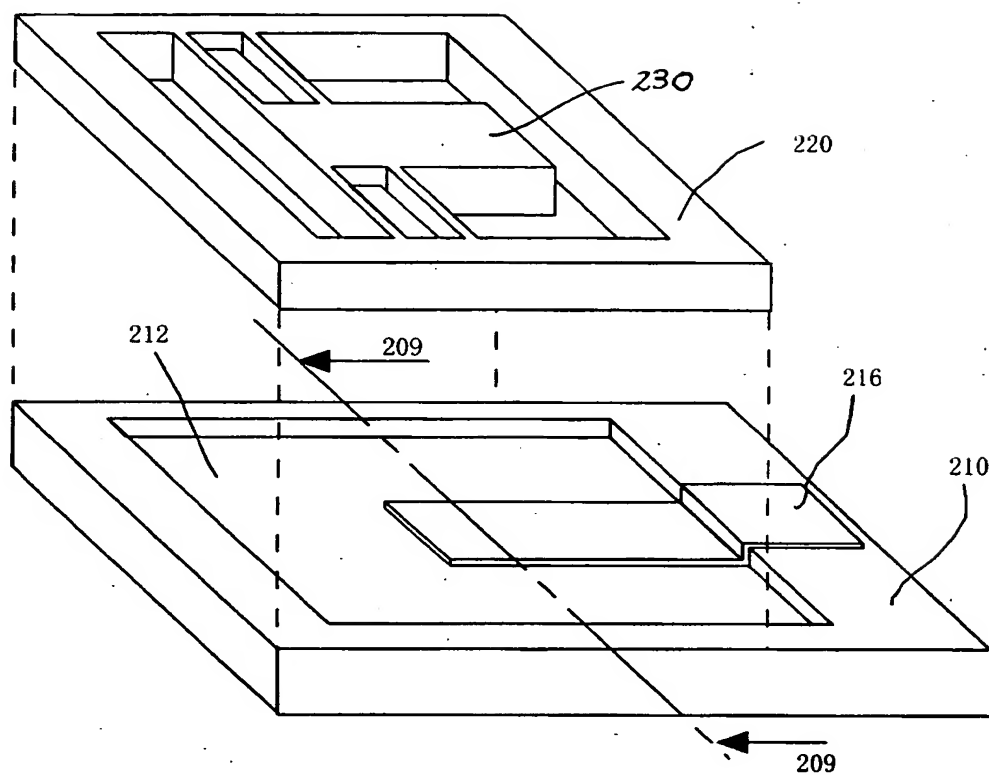
【図 7】



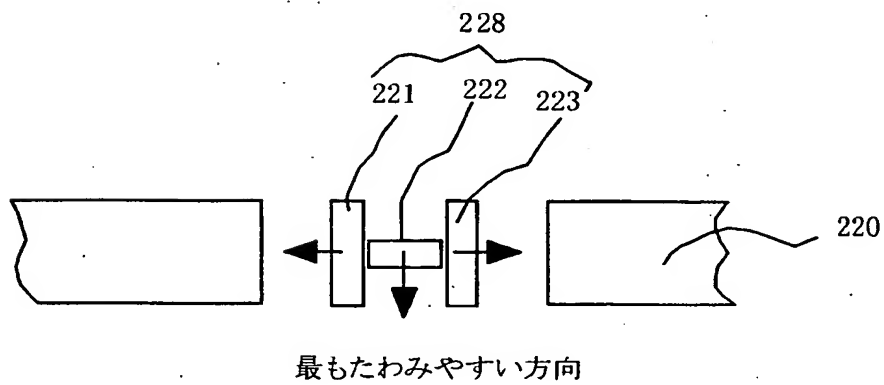
【図 8】



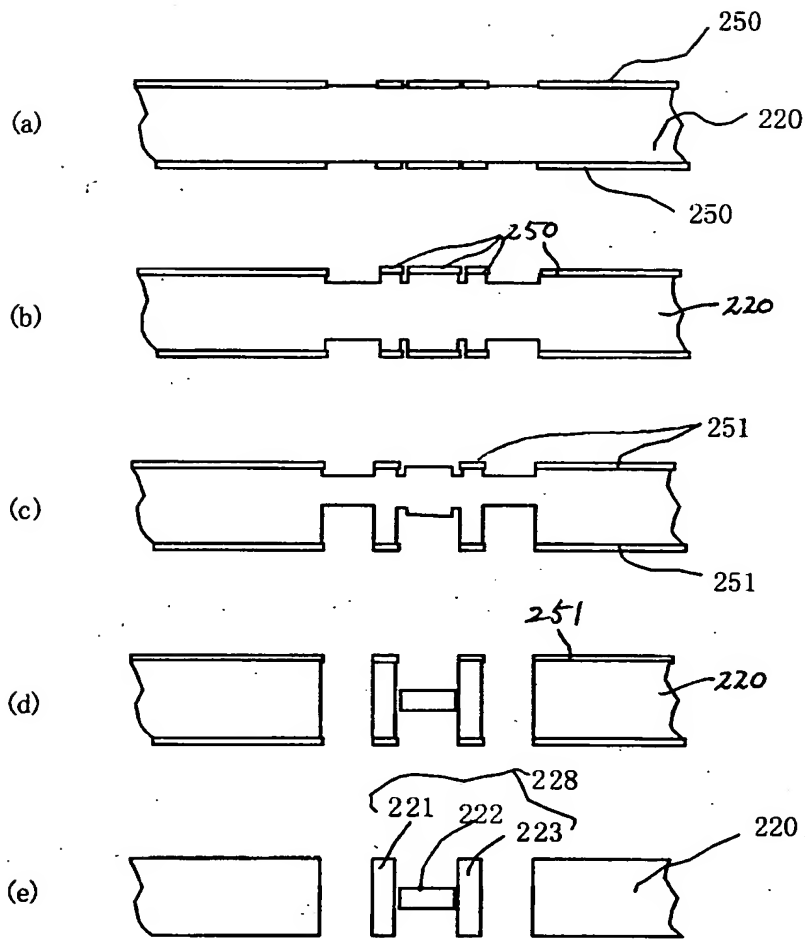
【図 9】



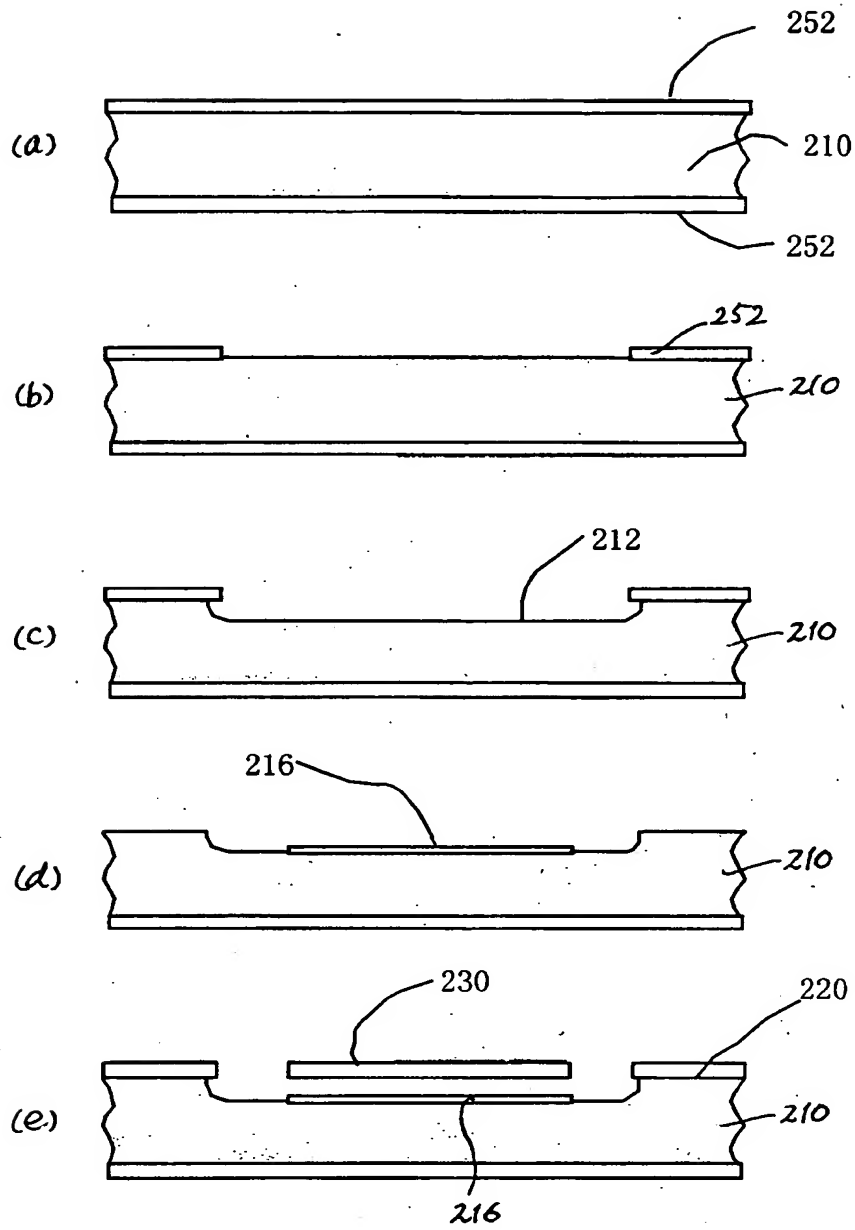
【図 10】



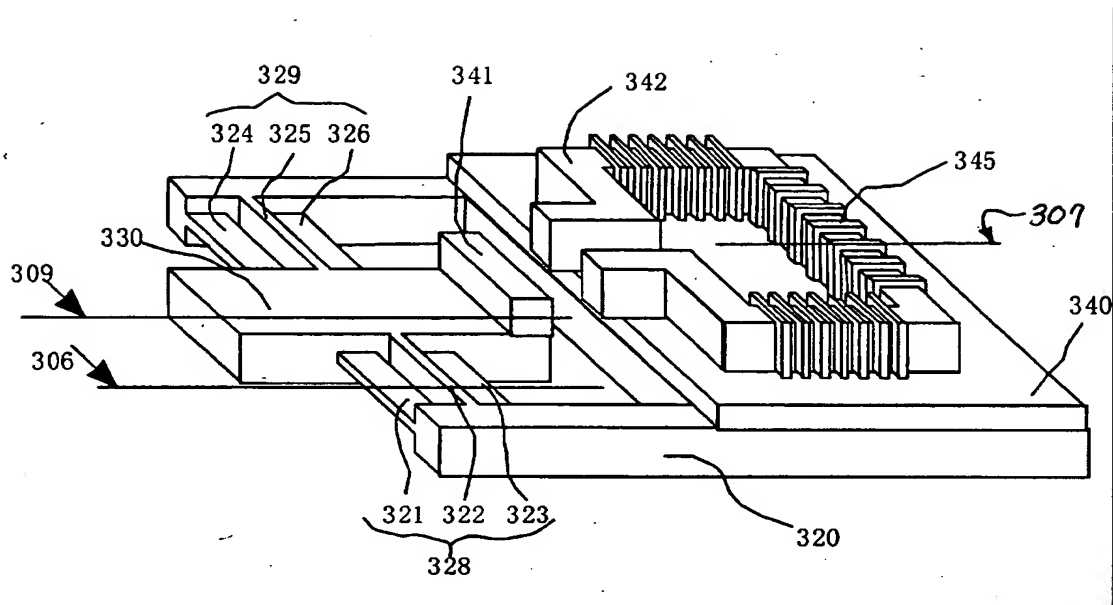
【図 11】



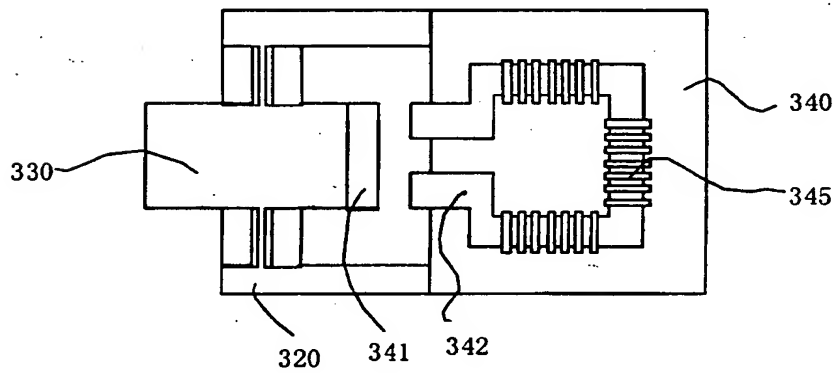
【図 12】



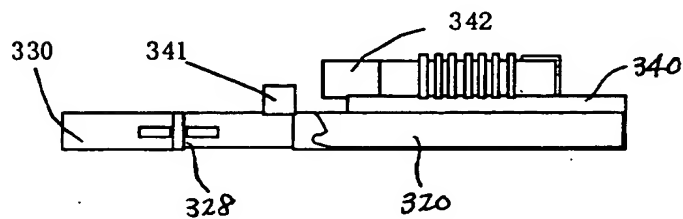
【図 13】



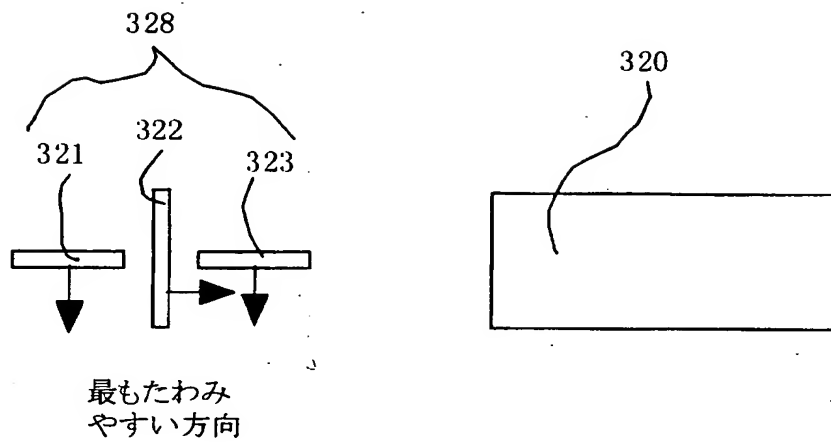
【図 14】



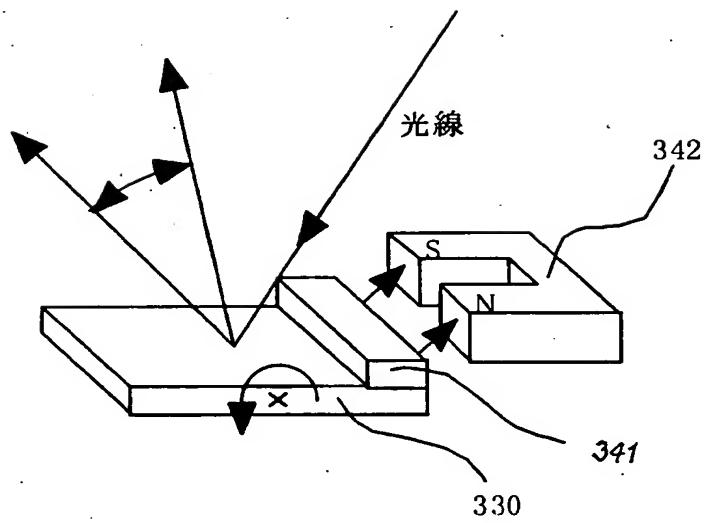
【図 15】



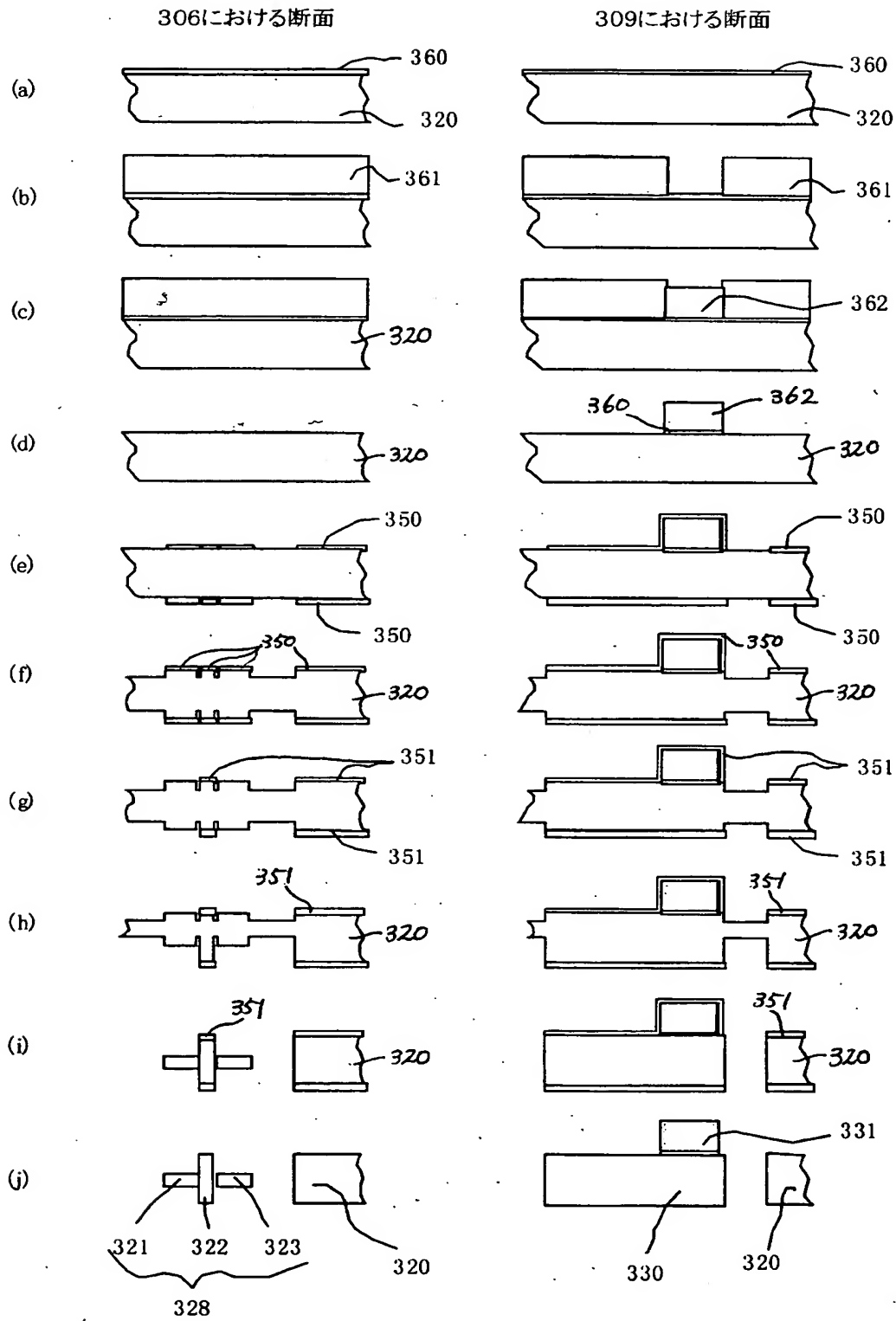
【図 1 6】



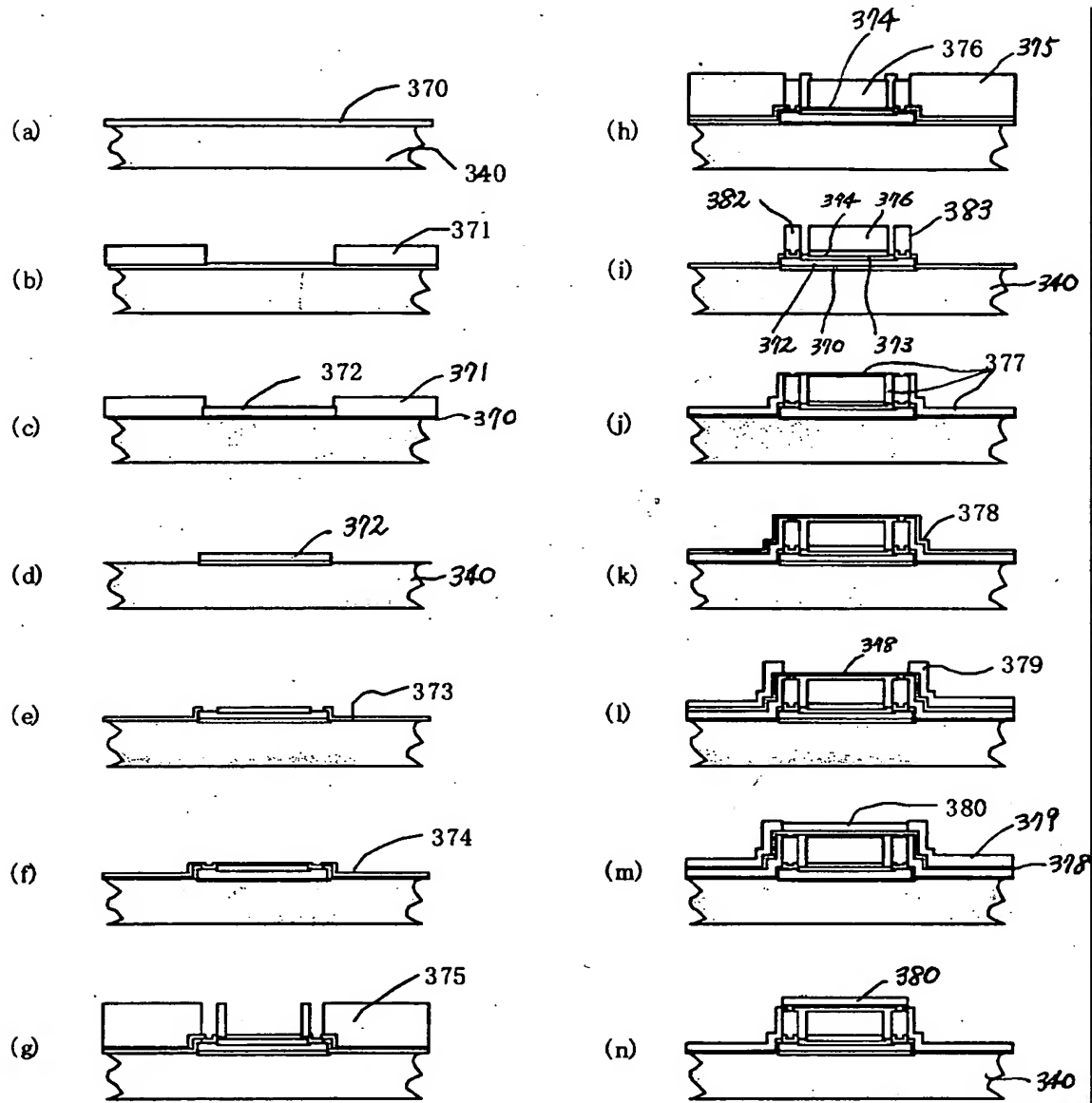
【図 1 7】



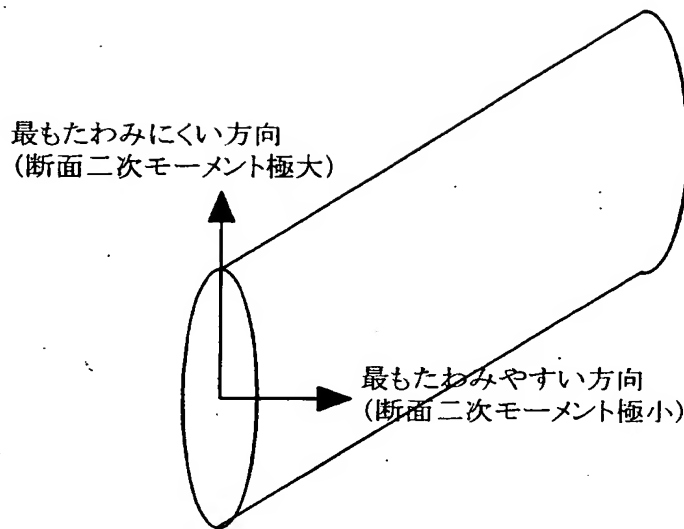
【図 18】



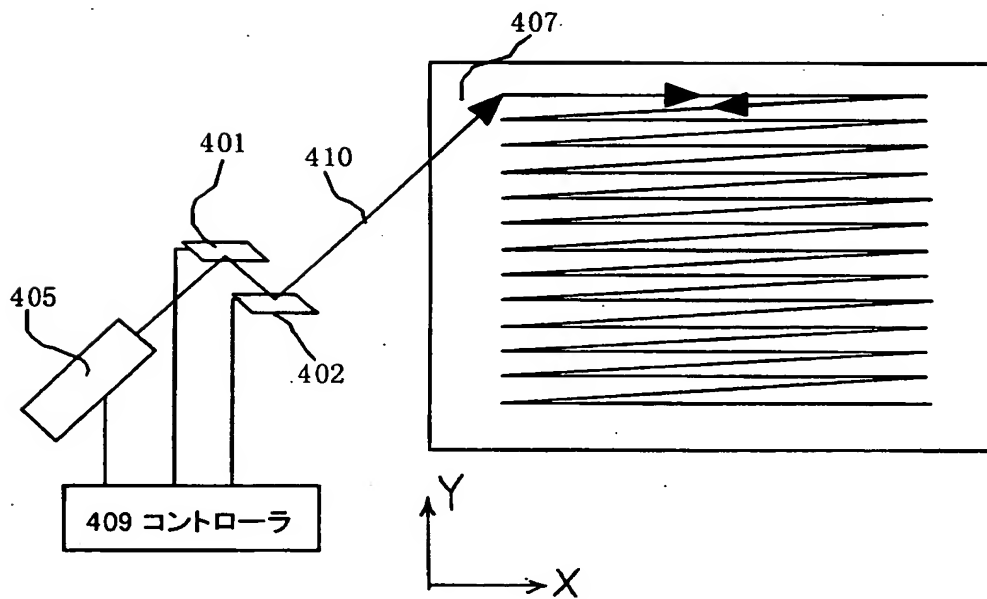
【図 19】



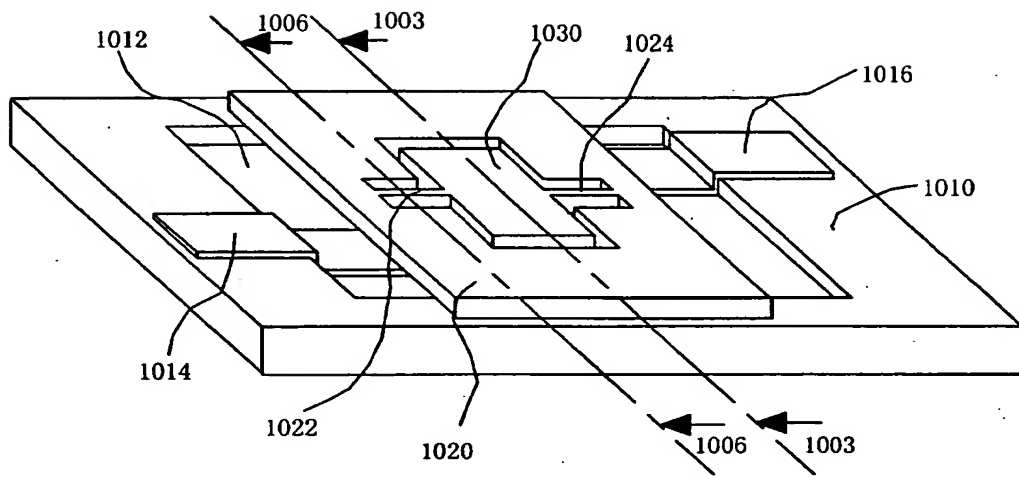
【図 2 0】



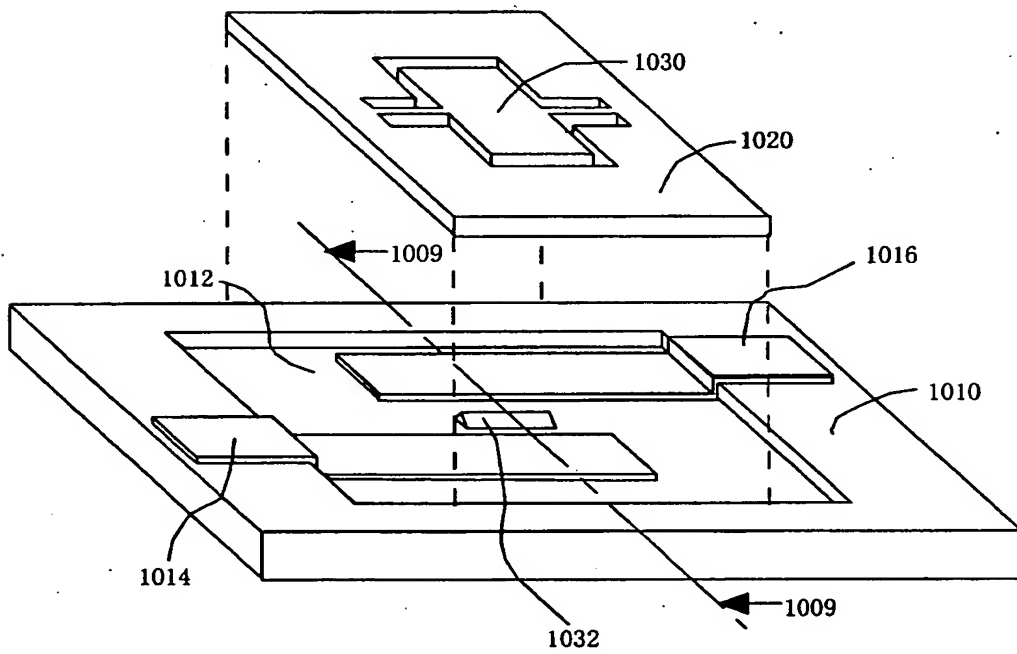
【図 2 1】



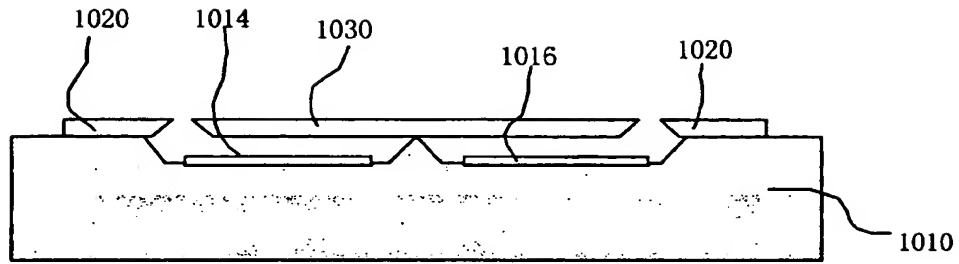
【図 2 2】



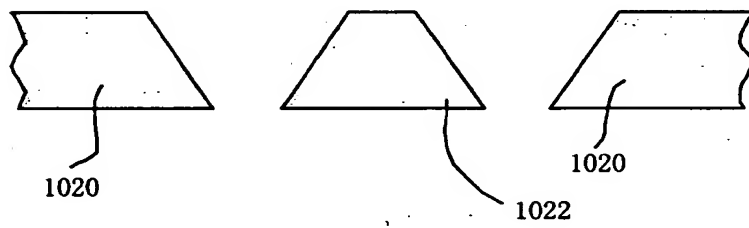
【図 2 3】



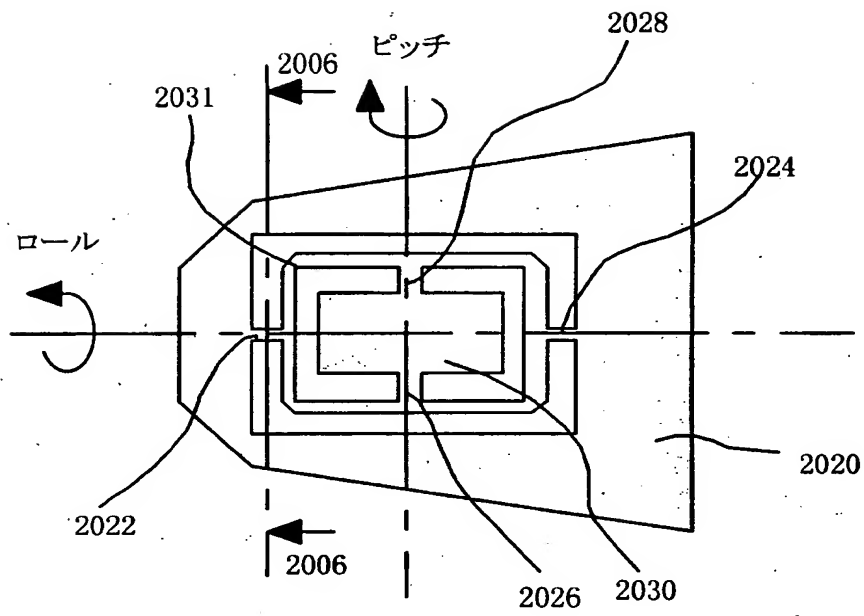
【図 2 4】



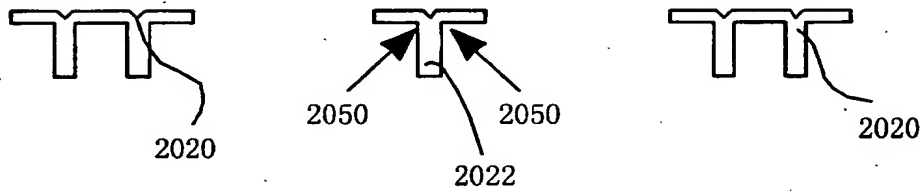
【図 2 5】



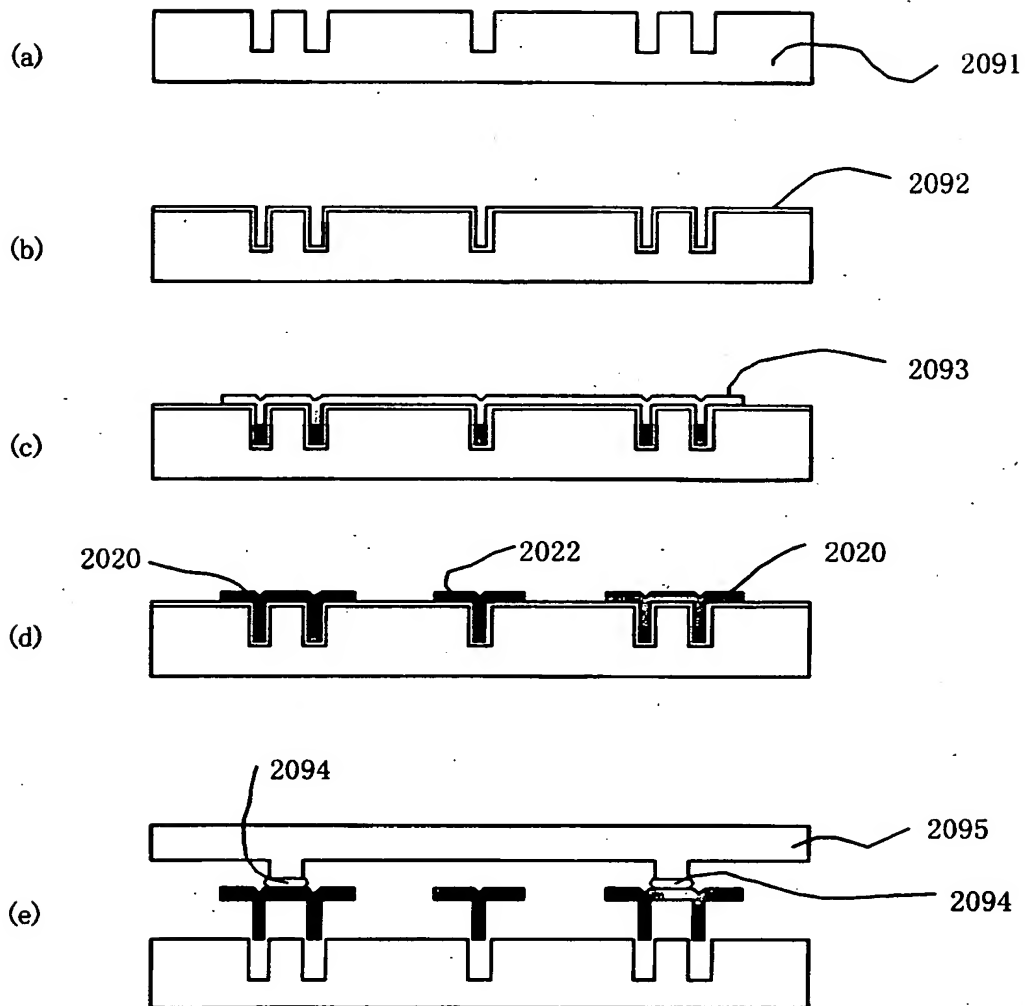
【図 2 6】



【図 2 7】



【図 2 8】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】ねじれ方向に十分なコンプライアンスを確保しながら、ねじれの軸に垂直な方向には剛性の高いマイクロ構造体である。

【解決手段】マイクロ構造体は、基板 1 2 0 と、少なくとも一つ以上の揺動体 1 3 0 を有し、揺動体 1 3 0 が複数のトーションバー 1 2 2 ～ 1 2 5 から成る一組以上のトーションスプリング 1 2 8、1 2 9 によって基板 1 2 0 に対して弾性的に揺動自由に支持されている。一組のトーションスプリング 1 2 8、1 2 9 を構成する複数のトーションバー 1 2 2 ～ 1 2 5 は、互いに長軸が平行であるように並列的に近接して配置されている。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000001007]

1. 変更年月日 1990年 8月30日
[変更理由] 新規登録
住 所 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
氏 名 キヤノン株式会社